

บทที่ 19 ฟิสิกส์อะตอม

19.1 อะตอมและการค้นพบอิเล็กตรอน

แนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารในสมัยกรีกโบราณ

ดิโมคริตัส (ประมาณ พ.ศ. 83 – 173) นักปราชญ์ ชาวกรีก เสนอแนวคิดกับเรื่องโครงสร้างสสารว่า โลกประกอบด้วยสสารและที่ว่าง สสารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุด และแบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้ สสารแต่ละชนิดประกอบด้วยอะตอมที่มีเนื้อเหมือนกัน แต่มีขนาด รูปร่างและการจัดเรียงตัวต่างกัน จึงทำให้เกิดสสารต่างชนิดกัน การเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอม

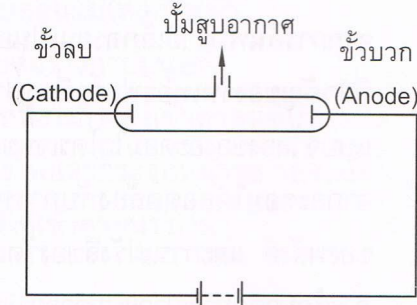
อาริโตเติล (ประมาณ พ.ศ. 159 – 221) ยอมรับแนวคิดของเอมเพโดคลีส เขาได้อธิบายโครงสร้างของสสารว่า สสารทุกชนิดมีเนื้อต่อเนื่อง ไม่มีช่องว่าง ไม่มีเนื้อสสารและสามารถแบ่งออกเป็นชิ้นเล็กๆ ทำได้ก็ได้ ไม่จำกัด นั่นคือ ไม่มีอะตอม เขาเชื่อว่าสรรพสิ่งทั้งหลายในโลก ประกอบด้วยสารมูลฐาน 4 อย่าง คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ สสารชนิดเดียวกันจะประกอบด้วยองค์ประกอบมูลฐานเหมือนกันการเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมูลฐาน

ทฤษฎีอะตอมของดอลตัน อธิบายว่า สสารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดและแบ่งแยกอีกต่อไปไม่ได้ ธาตุเดียวกันประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกัน ธาตุต่างชนิดกันประกอบด้วยอะตอมที่ต่างกัน อะตอมของธาตุแต่ละชนิดจะมีรูปร่างและน้ำหนักเฉพาะตัว อะตอมชนิดหนึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นอะตอมชนิดอื่นไม่ได้ อะตอมของธาตุหนึ่งๆ อาจรวมกับอะตอมธาตุอื่นได้ในสัดส่วนคงตัว

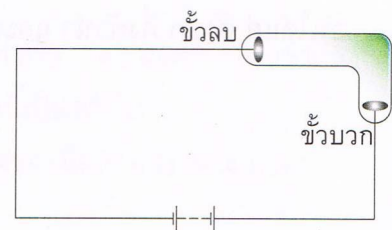
19.2 รังสีแคโทด

Sir Williams Crookes (พ.ศ. 2375 – 2462) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ทำการทดลองการนำกระแสไฟฟ้าในหลอดแก้วสุญญากาศที่โค้งงอเป็นมุมจากพบว่าเกิดสารเรืองแสงสีเขียวที่ผนังหลอดด้านในตรงข้ามกับขั้วแคโทดซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าลบแสดงว่าเกิดรังสีออกมาจากขั้วแคโทดจึงเรียกว่า รังสีแคโทด

(Cathode Ray)

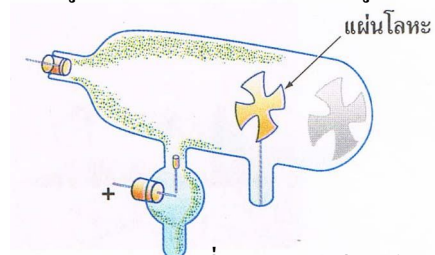


รูป 19.1 วงจรไฟฟ้าหลอดรังสีแคโทด



รูป 19.2 วงจรไฟฟ้าแบบครูกส์

ในเวลาต่อมาได้ศึกษาถึงธรรมชาติของรังสีแคโทด โดยใช้แผ่นโลหะบาง ๆ กันรังสีแคโทด ทำให้เกิดเงาของแผ่นโลหะบนผนังหลอดดังรูป 19.3 พบว่าปกติรังสีแคโทดเคลื่อนเป็นเส้นตรง แต่จะเบี่ยงเบนทิศทางสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก



รูป 19.3 แสดงเงาที่เกิดจากรังสี แคโทด

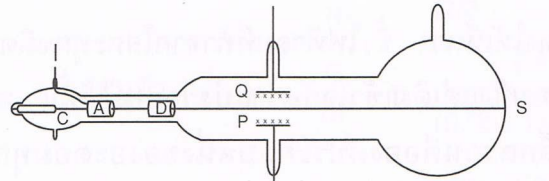
19.1.2 การค้นพบอิเล็กตรอนโดยการทดลองของทอมสัน

Sir Joseph J. Thomson (พ.ศ. 2399 - 2483) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ในปี พ.ศ. 2440 เจ เจ ทอมสัน ใช้หลอดรังสีแคโทดหาอัตราส่วนประจุต่อมวล(q/m) ของอนุภาคได้เท่ากับ 1.76×10^{11} คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม ซึ่งการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่ารังสีแคโทดประกอบด้วยอนุภาคที่มีมวลและอิเล็กตรอน คือ ส่วนประกอบที่สำคัญของอะตอม

สรุปผลการทดลองของ Thomson

1. ทอมสันได้ทำการทดลองโดยจัดขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กให้เท่ากัน จนกระทั่งรังสีแคโทดวิ่งเป็นเส้นตรง ดังรูป 19.4

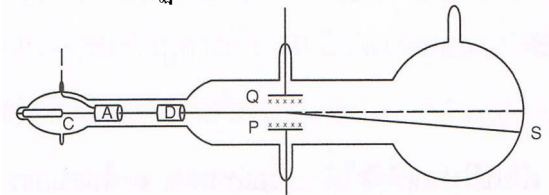
$$\begin{aligned} F_E &= F_B \\ qE &= qvB \\ v &= \frac{E}{B} = \frac{V}{dB} \end{aligned}$$



รูป 19.4 แนวทางการเคลื่อนที่ของอนุภาครังสีแคโทด ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเท่ากัน

2. ทอมสันตัดสนามไฟฟ้าออกเหลือแต่สนามแม่เหล็กปรากฏว่ารังสีแคโทดวิ่งเป็นเส้นโค้งรัศมี R ดังรูป 19.5

$$\begin{aligned} F_B &= F_C \\ qvB &= \frac{mv^2}{R} \\ \frac{q}{m} &= \frac{v}{BR} = \frac{E}{B^2 R} \end{aligned}$$



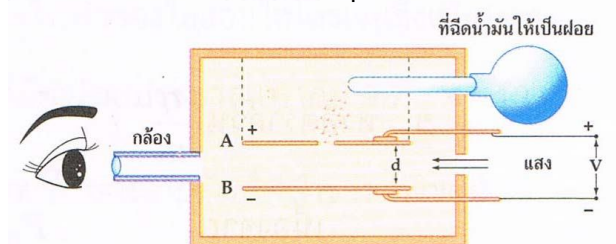
รูป 19.5 แนวทางการเคลื่อนที่ของอนุภาครังสีแคโทด ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก

ถ้ามีการเร่งประจุด้วยความต่างศักย์ หาประจุต่อมวลจาก

$$\begin{aligned} E_k &= E_p \\ \frac{1}{2} mv^2 &= qV \\ \frac{q}{m} &= \frac{v^2}{2V} = \frac{E^2}{2B^2 V} \end{aligned}$$

19.1.3 การทดลองของมิลลิแกน

Robert Andrew Millikan (พ.ศ. 2411 - 2496) นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน ทำการทดลองและหาประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนได้สำเร็จ โดยการวัดปริมาณประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันดังนี้



รูป 19.6 เครื่องมือทดลองของมิลลิแกน

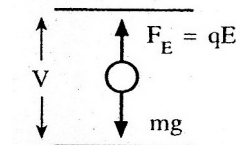
สรุปสาระสำคัญของการทดลองของมิลลิแกน

1. มิลลิแกนใช้กระบอกฉีดน้ำมัน โดยที่ปากกระบอกมีรูเล็ก หยดน้ำมันเล็กๆ ที่ถูกฉีดออกมาพบว่า มีประจุไฟฟ้า เพราะว่าเกิดการเสียดสีกับปากกระบอกฉีด หรือเสียดสีกับอากาศขณะเคลื่อนที่ บางหยดมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกเพราะเสียอิเล็กตรอนไป บางหยดมีประจุไฟฟ้าเป็นลบเพราะได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามา

2. จากการทดลองถ้าจัดความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เหมาะสมจะมีหยดน้ำมันบางหยดลอยนิ่งอยู่กับที่ แสดงว่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าเท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลก

$$F_E = mg$$

$$qE = mg$$



เมื่อ q แทน ปริมาณประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมัน (C)

E แทน ขนาดของสนามไฟฟ้า (V/m)

g แทน ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2) m แทน มวลของหยดน้ำมัน (kg)

จากการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกนพบว่าปริมาณประจุที่วัดได้บนหยดน้ำมันเป็นจำนวนเท่าของค่าคงที่คือ 1.6×10^{-19} เสมอ จากการทดลองมิลลิแกนสรุปว่าบนหยดน้ำมันแต่ละหยดที่มีประจุไฟฟ้าลบนั้นได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มเป็นจำนวนเท่าของ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์ เช่น ประจุ 2 ตัว มีประจุเท่ากับ 3.2×10^{-19} คูลอมบ์ โดยประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนหนึ่งตัวมีค่าเท่ากับ -1.6×10^{-19} คูลอมบ์ และนิยมใช้สัญลักษณ์ (e) แทนประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

แบบฝึกหัดที่ 19.1

1.1 ในปัจจุบันใช้ธาตุอะไรเป็นมาตรฐานสำหรับการกำหนดหน่วยทางมวลของอะตอม

ก. ออกซิเจน ข. คาร์บอน ค. ไฮโดรเจน ง. ยูเรเนียม

1.2 องค์ประกอบอันดับแรกของอะตอมที่มนุษย์รู้จักคือข้อใด

ก. โปรตอน ข. นิวตรอน ค. นิวเคลียส ง. อิเล็กตรอน

1.3 ในการทดลองหาค่าประจุมวลของทอมสันโดยใช้สนามแม่เหล็กที่มีความเข้ม 0.002 T ถ้าความต่างศักย์ระหว่างแผ่นขนานสองแผ่นห่างกัน 2 cm มีค่า 80 V ความเร็วของอิเล็กตรอนขณะเคลื่อนที่ผ่านแผ่นโลหะนี้มีค่าเท่าไร

ก. 2×10^6 m/s ข. 4×10^6 m/s ค. 6×10^6 m/s ง. 8×10^6 m/s

1.4 ในการทดลองหาค่าประจุมวลของอิเล็กตรอนโดยใช้หลอดคาเทอดได้จัดค่าความต่างศักย์ระหว่างแคโทดกับแอโนดรูปก้นกระทะเท่ากับ 180 V ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดโซลินอยด์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก 5×10^{-3} T และทราบว่อิเล็กตรอนมีประจุ -1.6×10^{-19} C และมีมวล 9×10^{-31} kg อัตราเร็วของอิเล็กตรอนขณะวิ่งถึงแอโนดเป็นเท่าไร

ก. 2×10^6 m/s ข. 4×10^6 m/s ค. 6×10^6 m/s ง. 8×10^6 m/s

1.5 จากโจทย์ข้อที่ 1.4 ขณะถึงแอโนดอิเล็กตรอนจะวิ่งด้วยรัศมีมีความโค้งเท่าไร

- ก. 3×10^{-3} m ข. 5×10^{-3} m ค. 7×10^{-3} m ง. 9×10^{-3} m

1.6 ในการทดลองวัดอัตราส่วนประจุต่อมวลของอิเล็กตรอนโดยวิธีของทอมสัน โดยครั้งแรกให้รังสีแคโทดเกิดการเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก แต่เมื่อใส่สนามไฟฟ้าเข้าไปเพื่อหักล้างการเบี่ยงเบนของรังสีแคโทด กลับปรากฏว่ารังสีแคโทดกลับเบี่ยงเบนมากยิ่งขึ้นผู้ทำการทดลองควรจะทำอย่างไร

- ก. กลับทิศทางของสนามไฟฟ้า ข. ลดความเข้มของสนามไฟฟ้า
ค. เพิ่มความเข้มของสนามไฟฟ้า ง. ลดความเข้มของสนามแม่เหล็ก

1.7 ในการทดลองหลอดคาโทด พบว่า ความเร็วของอนุภาครังสีแคโทดมีค่าเท่ากับ 9×10^7 m/s เมื่อนำขดลวดโซลินอยด์ที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก 0.1 เทสลา ครอบลงบนหลอดคาโทด จงหาว่ารังสีแคโทดจะวิ่งเป็นเส้นโค้งด้วยรัศมีเท่าไร (กำหนด $\frac{e}{m}$ ของอนุภาครังสีแคโทดเท่ากับ 1.8×10^{11} C/kg)

- ก. 0.05 ซม. ข. 0.5 ซม. ค. 2.5 ซม. ง. 5.0 ซม.

1.8 ในการทดลองตามแบบของมิลลิแกน พบว่าหยดน้ำมันหยดหนึ่งอยู่ได้ระหว่างแผ่นโลหะขนานสองแผ่น ซึ่งห่างกัน 0.8 cm โดยมีความต่างศักย์ระหว่างแผ่นเท่ากับ 12,000 V ถ้าหยดน้ำมันมีประจุไฟฟ้า 8×10^{-19} C จะมีน้ำหนักเท่าไร

- ก. 1.2×10^{-12} N ข. 2.2×10^{-12} N ค. 3.2×10^{-12} N ง. 4.2×10^{-12} N

1.9 ในการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกน หยดน้ำมันมีมวล 6.4×10^{-14} kg ลอยนิ่งอยู่ระหว่างแผ่นโลหะสองแผ่น ซึ่งมีความต่างศักย์ 10,000 V อยู่ห่างกัน 1 cm จำนวนอิเล็กตรอนซึ่งแฝงอยู่ในหยดน้ำมันมีจำนวนเท่าไร

- ก. 4 ตัว ข. 6 ตัว ค. 8 ตัว ง. 12 ตัว

1.10 ในการทดลองเรื่องหยดน้ำมันของมิลลิแกน ถ้าใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ หยดน้ำมันมีมวล 8×10^{-16} kg ระยะห่างระหว่างแผ่นขั้วโลหะเท่ากับ 0.8 เซนติเมตร ทำให้หยดน้ำมันอยู่นิ่ง หยดน้ำมันได้รับอิเล็กตรอนกี่ตัว

- ก. 1 ตัว ข. 2 ตัว ค. 4 ตัว ง. 8 ตัว

1.11 ในการทดลองเรื่องหยดน้ำมันของมิลลิแกน พบว่าถ้าต้องการใช้โวลต์ หยดน้ำมันซึ่งมีมวล 4.8×10^{-15} kg ลอยนิ่งอยู่ระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่น ซึ่งวางขนานห่างกัน 1.0 เซนติเมตร ถ้าใช้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะ 300 โวลต์ ถ้าอิเล็กตรอนมีประจุ 1.6×10^{-19} C และความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกเท่ากับ 10 m/s^2 หยดน้ำมันนี้จะมีอิเล็กตรอนเกาะอยู่ที่ตัว

- ก. 1 ตัว ข. 10 ตัว ค. 100 ตัว ง. 1,000 ตัว

1.12 ในการทดลองของมิลลิแกน เมื่อทำให้หยดน้ำมันมวล 1.6×10^{-14} kg ลอยหยุดนิ่งระหว่างแผ่นโลหะขนานซึ่งวางห่างกัน 1 ซม. โดยแผ่นบนมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าแผ่นล่างเท่ากับ 392 โวลต์ ถ้าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกเท่ากับ 9.8 m/s^2 และอิเล็กตรอนมีประจุ 1.6×10^{-19} C จงคำนวณหาว่าหยดน้ำมันนี้มีอิเล็กตรอนอิสระแฝงอยู่ที่ตัว

ก. 25 ตัว ข. 50 ตัว ค. 250 ตัว ง. 500 ตัว

1.13 หยดน้ำมันมีมวล 9.2×10^{-30} กิโลกรัม และมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระอยู่จำนวนหนึ่งลอยนิ่งอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำขนาดที่มีสนามไฟฟ้าความเข้ม 6×10^{-14} N/C ทิศแนวตั้ง มีอิเล็กตรอนอิสระที่ตัวอยู่บนหยดน้ำมันดังกล่าว กำหนดประจุอิเล็กตรอนเป็น 1.6×10^{-19} คูลอมป์

ก. 250 ตัว ข. 500 ตัว ค. 1,000 ตัว ง. 2,000 ตัว

1.14 ในการทดลองเรื่องหยดน้ำมันของมิลลิแกนนั้น พบว่าเมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์จนถึงค่าสูงสุดของเครื่องมือแล้วไม่สามารถทำให้หยดน้ำมันหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกับเมื่อยังไม่ให้ค่าความต่างศักย์แสดงว่า

ก. หยดน้ำมันมีประจุชนิดที่ทำให้แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ามีทิศทางเดียวกับแรงโน้มถ่วงของโลก
ข. สนามไฟฟ้ามีค่าน้อยเกินไป
ค. หยดน้ำมันมีมวลมากเกินไป

ง. ถูกทุกข้อ

1.15 ในการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกน ปรากฏว่า เมื่อยังไม่ใส่สนามไฟฟ้าเข้าไป หยดน้ำมันจะตกลงด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อใส่สนามไฟฟ้าเข้าไปเพื่อจะให้หยดน้ำมันลอยนิ่งอยู่กับที่กลับปรากฏว่าหยดน้ำมันกลับตกลงด้วยความเร็วสูงกว่าเดิม เหตุผลต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง

ก. หยดน้ำมันมีประจุลบ ข. ความเข้มของสนามไฟฟ้าต่ำเกินไป
ค. ความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงเกินไป ง. ทิศทางของสนามไฟฟ้าสลับกันกับที่ควรจะเป็น

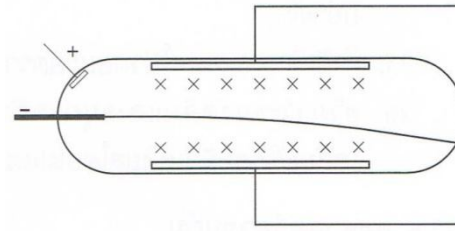
2.1 ทอมสันทราบได้อย่างไรว่า รัศมีแคโทดเป็นอนุภาคที่มีประจุลบ

2.2 ทอมสันหาอัตราส่วนระหว่างประจุไฟฟ้าต่อมวล ($\frac{q}{m}$) ของรัศมีแคโทดได้อย่างไร

2.3 มิลลิแกนหาประจุไฟฟ้า (e) ของอิเล็กตรอนบนหยดน้ำมันได้อย่างไร

3.1 อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.8×10^7 เมตรต่อวินาที เข้าสู่บริเวณสนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ปรากฏว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 0.10 เมตร สนามแม่เหล็กที่ใช้มีขนาดเท่าใดกำหนดให้ประจุไฟฟ้าต่อมวลของอิเล็กตรอนเป็น 1.76×10^{11} คูลอมป์ต่อกิโลกรัม ($1.6 \times 10^{-19} \text{ T}$)

3.2 ถ้าอิเล็กตรอนมีอัตราเร็ว 20×10^7 เมตรต่อวินาที เคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กขนาด 3.0×10^{-2} เทสลาทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในแนวโค้ง ดังรูป จงหาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กตามรูป ที่จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ตรงไปโดยไม่เบน ($6.0 \times 10^4 \text{ V/m}$)



3.3 ในการทดลองวัดอัตราส่วนประจุไฟฟ้าต่อมวลของอิเล็กตรอน q/m แบบทอมสัน ระยะระหว่างแผ่นโลหะที่ใช้เท่ากับ 8.0 มิลลิเมตร และความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสองเท่ากับ 300 โวลต์ พบว่าถ้าใช้สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 2.0×10^{-3} เทสลา ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าจะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งในแนวตรงระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง และเมื่อตัดสนามไฟฟ้าออกอิเล็กตรอนจะวิ่งเป็นส่วนโค้งของวงกลมซึ่งมีรัศมีเท่ากับ 6.0 เซนติเมตร ถ้าโลหะแผ่นบนมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก จงแสดงทิศทางของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก และหา

ก. อัตราเร็วของอิเล็กตรอน (1.9×10^7 m/s)

ข. อัตราส่วนประจุไฟฟ้าต่อมวลของอิเล็กตรอน (1.6×10^{11} C/kg)

ค. ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอิเล็กตรอนจากหยุดนิ่งจนมีอัตราเร็วเท่ากับข้อ ก. (1.13×10^3 V)

3.4 หยดน้ำมันมวล 1.0×10^{-15} กิโลกรัม มีประจุบวกหยุดนิ่งในสนามไฟฟ้าขนาด 6.1×10^4 นิวตันต่อคูลอมบ์ จงหาประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมัน ในกรณีนี้สนามไฟฟ้าจะมีทิศทางใด (1.6×10^{-17} C)

3.5 ในการทดลองของมิลลิแกน เมื่อใช้สนามไฟฟ้ามีทิศทางขึ้นขนาด 1.96×10^4 นิวตันต่อคูลอมบ์ จะทำให้หยดน้ำมันมวล 3.2×10^{-15} กิโลกรัม หยุดนิ่งได้ จงหาว่าหยดน้ำมันนี้ได้รับหรือเสียอิเล็กตรอนกี่ตัว (10^4 ตัว)

3.6 แผ่นโลหะสองแผ่นอยู่ห่างกัน 0.050 เมตร ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสองเท่ากับ 100 โวลต์ จงหา

ก. ขนาดของสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะ (2.0×10^3 V/m)

ข. ประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันมวล 6.4×10^{-15} กิโลกรัม ที่หยุดนิ่งระหว่างแผ่นโลหะ (3.1×10^{-17} C)

19.2 แบบจำลองอะตอม

19.2.1 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

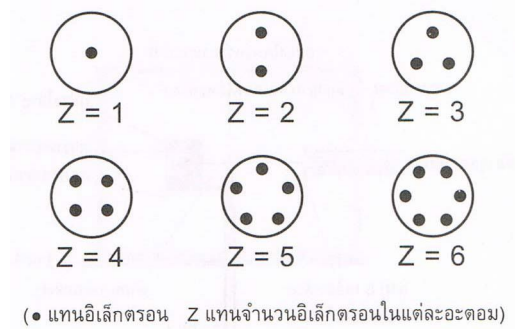
ในปีพ.ศ.2447 ทอมสัน เสนอว่าอะตอมมีรูปร่างเหมือนทรงกลม มีประจุบวกกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วอะตอม โดยอิเล็กตรอน(ประจุลบ)คละอยู่ด้วย และมีจำนวนเท่ากับประจุบวก อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า อะตอมแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเพราะอิเล็กตรอนสั่นแบบซิมเปิลฮาร์มอนิก

ข้อสังเกต ที่แบบจำลองอะตอมของทอมสันตอบไม่ได้ คือ

1. ทำไมประจุบวกรวมกันเป็นเนื้ออะตอมได้ทั้งที่ประจุบวกต้องออกแรงผลักกัน

2. ถ้าอิเล็กตรอนสั่นแบบซิมเปิลฮาร์มอนิกจะให้สเปกตรัมแบบต่อเนื่องแต่จากการทดลอง พบว่า

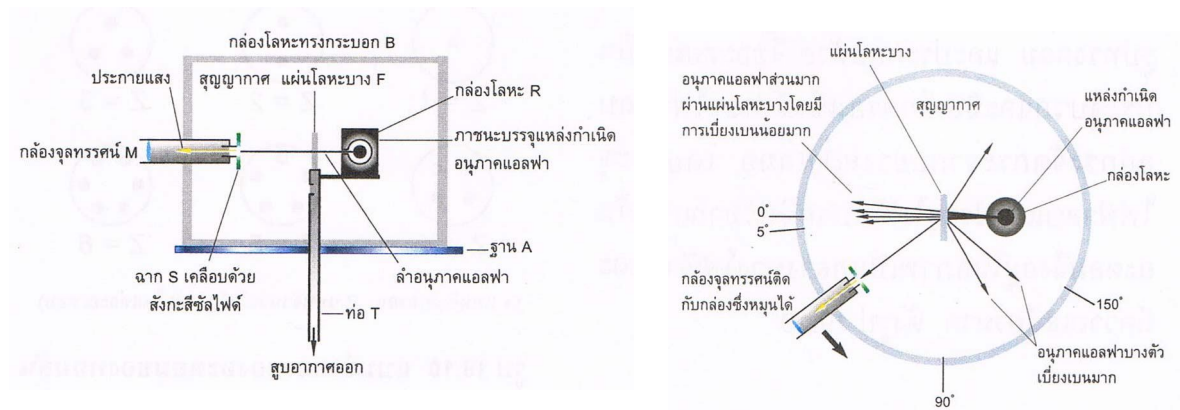
อะตอมให้สเปกตรัมแบบเส้น



รูป 19.7 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

19.2.2 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

รัทเทอร์ฟอร์ด ทำการทดลองยิงรังสีแอลฟา ให้ทะลุผ่านแผ่นทองคำเปลว แล้ววัดการกระเจิงของรังสีแอลฟา พบว่าอนุภาครังสีแอลฟาเกือบทั้งหมดทะลุผ่านแผ่นทองคำเปลว โดยมีการเบี่ยงเบนน้อยมากมีอนุภาคส่วนน้อยที่เบนไปและเบนไปเป็นมุมได้ถึงขนาด 90 องศาหรือมากกว่า 90 องศา



รูป 19.8 เครื่องมือที่ไคเกอร์และมาร์สเดนใช้ตรวจสอบแนวคิดของรัทเทอร์ฟอร์ด

สรุปแบบจำลองรัทเทอร์ฟอร์ด

1. อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้าโดยที่มีประจุบวกอัดแน่นอยู่ตรงกลางเรียกว่านิวเคลียส และมีประจุลบคืออิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสและห่างจากนิวเคลียสมาก
2. รัทเทอร์ฟอร์ดคำนวณพบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของนิวเคลียสมีค่าประมาณ $10^{-15} - 10^{-14}$ เมตร แต่อะตอมมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10^{-10} เมตร แสดงว่าอะตอมมีขนาดใหญ่กว่านิวเคลียสมาก
3. รัทเทอร์ฟอร์ดทดลองยิงอนุภาคแอลฟาเข้าไปตรง ๆ กับนิวเคลียสของทองคำพบว่าเกิดการสะท้อนกลับเป็นเส้นตรงแสดงว่าพลังงานจลน์เท่ากับพลังงานศักย์ไฟฟ้า

$$E_K = E_p$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{kQ_1Q_2}{R}$$

ปัญหาที่เกิดกับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

1. เหตุใดอิเล็กตรอนวิ่งวนรอบนิวเคลียสได้โดยไม่สูญเสียพลังงาน
2. เหตุใดประจุไฟฟ้าบวกหลายประจุมักจะรวมกันอยู่ภายในนิวเคลียสได้ทั้งที่มีแรงผลักระหว่างประจุ

แบบฝึกหัด 19.2

1.1 การที่รัทเธอร์ฟอร์ด ทำการทดลองยิงอนุภาคแอลฟาไปยังแผ่นทองคำบาง แล้วพบว่าโครงสร้างของอะตอมไม่เป็นไปตามแบบของทอมสัน เนื่องจากรัทเธอร์ฟอร์ด พบว่า

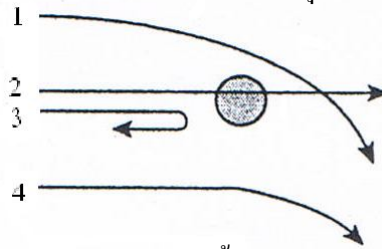
- ก. อนุภาคแอลฟาเบนไปจากแนวเดิมทุกทิศทางเท่า ๆ กัน
- ข. อนุภาคแอลฟาทั้งหมดวิ่งทะลุผ่านแผ่นทองคำไปในแนวเกือบเป็นเส้นตรง
- ค. อนุภาคแอลฟาบางส่วนเบนไปจากแนวเดิมเป็นมุมใด ๆ ทั้งที่ส่วนใหญ่ผ่านไปในแนวตรง
- ง. อนุภาคแอลฟาเกือบทั้งหมดเบนไปจากแนวเดิมเป็นมุมใด ๆ และบางที่มีการสะท้อนกลับ

1.2 อนุภาคพลังงานจลน์เท่ากันในข้อใดที่วิ่งเข้าใกล้นิวเคลียสของยูเรเนียมแล้วมีโอกาสเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิมน้อยที่สุด

- ก. โปรตอน ข. แอลฟา ค. อิเล็กตรอน ง. นิวตรอน

1.3 ถ้ายิงอนุภาคแอลฟาเข้าไปในนิวเคลียสของโลหะ ทางเดินของอนุภาคแอลฟาที่เป็นไปได้คือ

- ก. 1 และ 4 เท่านั้น
- ข. 2 และ 3 เท่านั้น
- ค. 3 และ 4 เท่านั้น
- ง. 1, 2, 3 และ 4



1.4 เมื่ออนุภาคแอลฟาวิ่งตรงเข้าสู่ นิวเคลียส อนุภาคแอลฟานั้น จะหยุดก็ต่อเมื่ออนุภาคนั้น

- ก. มีพลังงานรวมเป็นศูนย์ ข. กระแทกผิวนิวเคลียส
- ค. กระแทกกับอิเล็กตรอนในชั้นใดชั้นหนึ่ง ง. มีพลังงานศักย์เท่ากับพลังงานจลน์

1.5 รังสีแอลฟาเคลื่อนที่เฉียดนิวเคลียสของทองคำ พลังงานจลน์ของรังสีแอลฟา ณ ตำแหน่งที่เข้าใกล้ นิวเคลียสของทองคำมากที่สุดมีค่า

- ก. ศูนย์ ข. มากที่สุด ค. เท่าเดิม ง. น้อยที่สุด

2.1 แบบจำลองอะตอมของทอมสันและรัทเธอร์ฟอร์ดต่างกันอย่างไร

2.2 เมื่อยิงอนุภาคแอลฟาตรงไปยังนิวเคลียสของทองคำ อนุภาคแอลฟาจะเคลื่อนที่ช้าลงจนกระทั่งหยุด ณ ตำแหน่งที่ห่างจากนิวเคลียส แล้วเคลื่อนที่ย้อนกลับทางเดิม จงอธิบายว่าเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

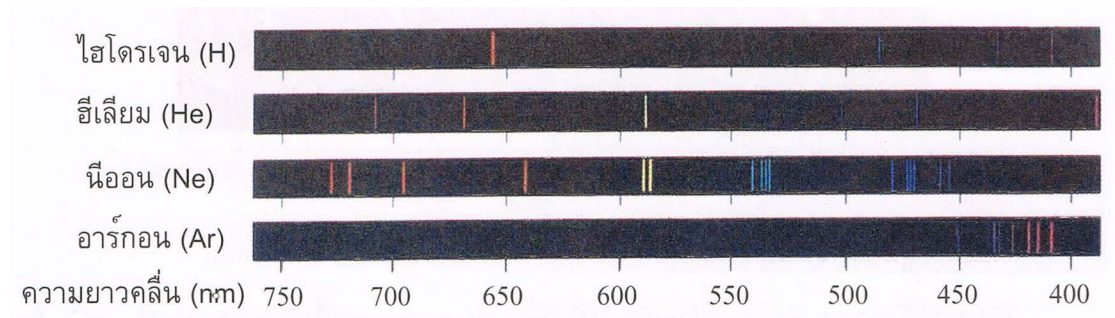
2.3 เพราะเหตุใด แบบจำลองอะตอมของรัทเธอร์ฟอร์ดยังไม่ถูกต้องสมบูรณ์

3.1 เมื่ออนุภาคแอลฟาพุ่งตรงไปยังนิวเคลียสของทองคำ อนุภาคแอลฟาจะเคลื่อนที่ช้าลงจนกระทั่งหยุด ณ ตำแหน่งหนึ่งที่ห่างจากนิวเคลียสแล้วเคลื่อนที่ย้อนกลับทางเดิม จงหาว่าถ้าอนุภาคแอลฟาที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 3.3×10^7 เมตรต่อวินาที จะเข้าใกล้นิวเคลียสของทองคำมากที่สุดเป็นระยะเท่าใด (กำหนดให้เลขอะตอมของทองคำเท่ากับ 79 และมวลของอนุภาคแอลฟาเท่ากับ 6.65×10^{-27} kg) (1.0×10^{-14} m)

19.3 การทดลองด้านสเปกตรัม

19.3.1 สเปกตรัมจากอะตอมของแก๊ส

เมื่อเราใช้เกรตติงส่องดูแก๊สร้อนในหลอดบรรจุแก๊สชนิดต่างๆ เราจะพบเห็นว่าสเปกตรัมของแก๊สร้อนชนิดต่างๆ มีลักษณะเป็นเส้นๆ ไม่ต่อเนื่องกันแต่เส้นสว่างจะมีความยาวคลื่นเรียงกันเป็นกลุ่มอย่างมีระเบียบ เรียกว่า **อนุกรม (Series)** ดังรูป



รูป 19.9 ลักษณะสเปกตรัมของแก๊สร้อน

ความยาวคลื่นของสเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจนร้อนมี 5 อนุกรมโดยมีชื่อเรียกตามนักวิทยาศาสตร์ที่ค้นพบสเปกตรัมแต่ละเส้นในอนุกรมนั้น และสามารถคำนวณหาความยาวคลื่นของสเปกตรัมแต่ละเส้นในอนุกรมต่างๆ ได้โดยใช้สมการ

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

เมื่อ λ แทน ความยาวคลื่นของสเปกตรัม (m)

R_H แทน ค่าคงที่ของริดเบิร์ก = $1.1 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

n_f แทน ชั้นตอนก่อน

n_i แทน ชั้นตอนหลัง

ตารางที่ 19.1 แสดงอนุกรมของสเปกตรัมชุดต่างๆ ของไฮโดรเจน

ชื่ออนุกรม	ปีที่ค้นพบ	ส่วนกลับของความยาวคลื่น	n_f	n_i	ช่วงของรังสี
ไลมาน (Lyman)	1906-1914	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	1	2, 3, 4, ...	อัลตราไวโอเลต (UV)
บัลเมอร์ (Balmer)	1885	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	2	3, 4, 5, ...	แสงที่ตามองเห็นถึง UV
พาสเชน (Paschen)	1908	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	3	4, 5, 6, ...	อินฟราเรด (IR)
แบรกกेट (Brackett)	1922	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	4	5, 6, 7, ...	
พุนด์ (Pfund)	1924	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	5	6, 7, 8, ...	

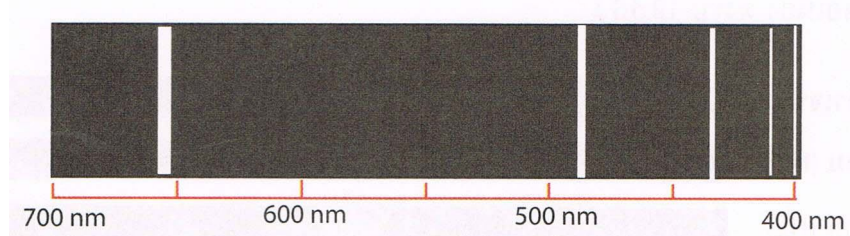
จากสมการของบัลเมอร์ เมื่อเราแทนค่า $n_f = 2$

$n_i = 3$ จะได้ $\lambda = 6,562.8 \text{ } ^0\text{A}$ เป็นความยาวคลื่นของแสงสีแดง

$n_i = 4$ จะได้ $\lambda = 4,861.3 \text{ } ^0\text{A}$ เป็นความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงิน

$n_i = 5$ จะได้ $\lambda = 4,340.5 \text{ } ^0\text{A}$ เป็นความยาวคลื่นของแสงสีม่วง

$n_i = 6$ จะได้ $\lambda = 4,101.7 \text{ } ^0\text{A}$ เป็นความยาวคลื่นของแสงสีเหนือม่วง



รูป 19.10 สเปกตรัมเส้นสว่างในอนุกรมบัลเมอร์ของอะตอมไฮโดรเจน

19.3.2 การแผ่รังสีของวัตถุดำ

วัตถุทุกชนิดไม่ว่าจะร้อนหรือเย็นจะมีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา โดยทั่วไปเราเข้าใจว่า วัตถุร้อนเท่านั้นที่จะแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา เพราะเรามักจะพบคลื่นแสงแผ่ออกมาจากวัตถุที่ร้อน เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ แสงจากการเผาถ่านไม้ หรือแสงจากไส้หลอดทั้งสแตน เป็นต้น แต่ความเป็นจริงแล้ววัตถุที่เย็นก็มีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเช่นกัน เพียงแต่ความถี่ของคลื่นในช่วงของแสงน้อยมาก ส่วนใหญ่จะอยู่ในย่านความถี่ของคลื่นอินฟราเรด หากเราเย็นอยู่ในห้องมีร่างกายเรามีอุณหภูมิประมาณ 310 เคลวิน จะแผ่รังสีของแสงมาน้อยไม่สามารถทำให้ห้องสว่างได้เพราะคลื่นที่แผ่ออกมาโดยส่วนใหญ่อยู่ในย่านอินฟราเรด เราเรียกวัดที่มีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ว่า **วัตถุดำ (Black Body)**

ปี ค.ศ. 1900 พลังก์ได้สร้างภาพจำลองในการแผ่รังสีของวัตถุดำโดยถือว่าวัตถุดำประกอบด้วย อะตอมกลุ่มมากมายและอะตอมทุกคู่จะมีการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ เช่นเดียวกับการสั่นของมวลผูกปลายสปริง จึงทำให้มีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา โดยพลังงานที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดการสั่นของอะตอม จำนวนอะตอมในวัตถุ โดยมีขนาดของพลังงานเป็น $E = hf, 2hf, 3hf, \dots$ ซึ่งเราสามารถเขียนเป็นสมการได้

$$E = n(hf)$$

n แทน เป็นตัวเลขจำนวนเต็มบวก โดย $n = 1, 2, 3, \dots$

f แทน ความถี่ธรรมชาติการสั่นของอะตอมคู่ (Hz)

h แทน ค่าคงที่ของพลังค์ ($h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)

ดังนั้น ปริมาณ hf หมายถึง 1 ก้อนพลังงานแสง ซึ่งเรียกว่า ควอนตัม หรือ 1 โฟตอน (1 เม็ดแสง)

อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) เป็นหน่วยวัดพลังงานสำหรับอนุภาคขนาดเล็กโดย $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ จูล}$

พลังงาน 1 eV. จะเป็นพลังงานที่ได้จากการเร่งอิเล็กตรอนผ่านความต่างศักย์ โวลต์ (เร่ง

อิเล็กตรอนผ่านความต่างศักย์ V โวลต์ จะทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานเป็น V อิเล็กตรอนโวลต์)

แบบฝึกหัด 19.3

1.1 (ม.เชิงใหม่)จากการวิเคราะห์สเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจน พบว่าชุดความถี่ของเส้นสเปกตรัมในช่วงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่านี้มีชื่อเรียกว่า

ก. Lyman series ข. **Balmer series** ค. Paschen series ง. Brackett series

1.2 (Ent) ในช่วงระดับพลังงานต่ำสุดสามระดับแรกของอะตอมไฮโดรเจน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ควพบจะอยู่ในชุดความถี่ที่เรียกว่า

ก. ชุดไลมานและชุดบาล์มเมอร์ ข. ชุดไลมานและชุดพาเชน
ค. ชุดบาล์มเมอร์และชุดพาเชน ง. ชุดไลมาน ชุดบาล์มเมอร์ และชุดพาเชน

2.1 จงอธิบายความแตกต่างระหว่างสเปกตรัมเส้นสว่าง (line spectrum) สเปกตรัมต่อเนื่อง (continuous spectrum) และสเปกตรัมดูดกลืน (absorption spectrum)

2.2 สเปกตรัมเส้นสว่างของไฮโดรเจนที่ตามองเห็นมีกี่เส้น และมีความยาวคลื่นเท่าใด

2.3 พลังค์อธิบายการแผ่รังสีของวัตถุดำโดยมีสมมติฐานอย่างไร สมมติฐานของพลังค์สอดคล้องหรือขัดแย้งกับฟิสิกส์ดั้งเดิม

2.4 ค่าคงตัวพลังค์คืออะไร มีความเกี่ยวข้องกับความถี่และควอนตัมของพลังงานอย่างไร

3.1 จงใช้สูตรอนุกรมบัลเมอร์ ตามสมการ $\lambda = b \left[\frac{n^2}{n^2 - 2^2} \right]$ หาความยาวคลื่นของสเปกตรัมเส้นสว่าง

ที่มองเห็นได้ทั้ง 4 เส้น (656.21, 486.08, 434.00 และ 410.13)

3.2 จงแสดงให้เห็นว่าสูตรของบัลเมอร์ สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการ $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

19.4 ทฤษฎีอะตอมของโบร์

โบร์ได้เสนอแบบจำลองอะตอมของไฮโดรเจนว่า อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสในวงโคจรบางวงที่เรียกว่าวงจรมีเสถียรได้โดยไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจรจะมีการรับหรือปล่อยพลังงานบางค่าออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีค่าตามสมมติฐานของพลังค์

19.4.1 ระดับพลังงานของอะตอม

ก. อิเล็กตรอนมีวงโคจรรอบนิวเคลียสเป็นชั้นๆ โดยในแต่ละวงโคจรจะมี

โมเมนตัมเชิงมุม; $mvR = n\hbar$ เมื่อ $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

ข. เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจรจะคายหรือดูดพลังงาน เป็น 1 ควอนตัม

$$\Delta E = |E_{n_i} - E_{n_f}| = hf$$

เมื่อ E_{n_i} แทน พลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรก่อนเปลี่ยนแปลง

E_{n_f} แทน พลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรหลังเปลี่ยนแปลง

ΔE แทน พลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับ (ΔE เป็นลบ เปลี่ยนวงโคจรจากวงในไปวงนอก)

พลังงานที่อิเล็กตรอนปล่อยออกมา (ΔE เป็นบวก เปลี่ยนวงโคจรจากวงนอกไปวงใน)

จากทฤษฎีของโบร์ทำให้แสดงได้ว่า อะตอมไฮโดรเจน จะมี

1. รัศมีอะตอม ;
$$R_n = \frac{n^2 \hbar^2}{m k e^2} = n^2 (5.3 \times 10^{-11}) \text{ m}$$

2. อัตราเร็วของอิเล็กตรอน ;
$$v_n = \frac{k e^2}{n \hbar} = \frac{2.2 \times 10^6}{n} \text{ m/s}$$

3. พลังงานของอะตอม ;
$$E_n = -\frac{m k^2 e^4}{2 n^2 \hbar^2} = \frac{-21.76 \times 10^{-19}}{n^2} \text{ จูล}$$

$$= -\frac{13.6}{n^2} \text{ อิเล็กตรอนโวลต์}$$

ระดับพลังงาน - 13.6 eV เป็นระดับพลังงานของอิเล็กตรอนอะตอมไฮโดรเจนวงในสุด เรียกว่า **สถานะพื้น (ground state)** ถ้าอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานสูงกว่าสถานะพื้นหรือในวงโคจรที่ $n \geq 2$ เรียกสภาวะนี้ว่า **สถานะกระตุ้น (excited state)**

สถานะพื้น (ground state) คือ สถานะปกติของอะตอมซึ่งจะมีพลังงานระดับต่ำสุดค่าหนึ่ง โดยปกติอิเล็กตรอนจะอยู่ในระดับพลังงานต่ำสุดค่านี้จนกว่าจะได้รับพลังงานจากภายนอกมากพอจึงจะขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า

สถานะกระตุ้น (excited state) คือสภาพของอะตอมที่มีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานสูงกว่าสถานะพื้น

อะตอมปกติอิเล็กตรอนจะมีพลังงานอยู่ในสถานะพื้น (ground state) เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากภายนอกที่เหมาะสมจะขึ้นไปอยู่บนวงโคจรใหม่ตามระดับชั้นของพลังงาน เรียกว่า สถานะกระตุ้น (excited state) ทันที (อิเล็กตรอนจะปฏิเสธการรับพลังงานที่มีปริมาณน้อยหรือเกินกว่าความเหมาะสมของชั้นพลังงาน) อิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะกระตุ้นไม่ได้และจะกระโดดกลับลงมาที่สถานะพื้นโดยปล่อยควอนตัมของพลังงานออกมาที่มีความถี่และความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ กัน

สเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน จะเกิดจากการเปลี่ยนวงโคจรของอิเล็กตรอน คำนวณได้จาก ความ สัมพันธ์จากสูตร

$$\Delta E = |E_{n_i} - E_{n_f}| = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

หรือใช้สูตร ΔE (หน่วยเป็น eV) กับ λ (หน่วยเป็นนาโนเมตร) จากสูตร

$$\lambda(\text{nm}) = \frac{1240}{\Delta E(\text{eV})}$$

แบบฝึกหัด 19.4.1

- (เอ็นทรานซ์) ในแบบจำลองอะตอมของไฮโดรเจนของโบว์ รัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนในสถานะ $n = 4$ เป็นกี่เท่าของรัศมีวงโคจรในสถานะ $n = 1$
 ก. 4 เท่า ข. 8 เท่า **ค. 16 เท่า** ง. 64 เท่า
- (เอ็นทรานซ์) อิเล็กตรอนตัวหนึ่งถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ 13.2 โวลต์ เข้าชนกับอะตอมของไฮโดรเจนที่อยู่ในสถานะพื้น การชนครั้งนี้จะสามารถทำให้อะตอมไฮโดรเจนอยู่ในระดับพลังงานสูงสุดในระดับเท่าใด (พลังงานงานสถานะพื้นของไฮโดรเจน = - 13.6 eV)
 ก. 7 ข. 6 **ค. 5** ง. 4
- (เอ็นทรานซ์) ตามทฤษฎีอะตอมของโบว์ ระดับพลังงานของอะตอมไฮโดรเจนต่ำสุดเท่ากับ 13.6 eV ถ้าอะตอมไฮโดรเจนถูกกระตุ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงสุดและดับสู่สถานะพื้นที่มีพลังงานต่ำสุดโดยการปล่อยโฟตอนออกมาด้วยพลังงาน 10.20 eV แสดงว่าอะตอมไฮโดรเจนถูกกระตุ้นไปที่ระดับพลังงานที่ n เท่ากับเท่าใด
ก. 2 ข. 4 ค. 8 ง. 16
- (เอ็นทรานซ์) พลังงานต่ำสุดของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนคือ - 13.6 eV ถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก $n = 3$ ไปสู่สถานะ $n = 2$ จะให้แสงที่มีพลังงานควอนตัมเท่าใด
 ก. 1.51 eV **ข. 1.89 eV** ค. 3.40 eV ง. 4.91 eV
- (เอ็นทรานซ์) อะตอมไฮโดรเจน เมื่อเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะ $n = 3$ สู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนมีพลังงาน 19.34×10^{-19} จูล และเมื่อเปลี่ยนสถานะจาก $n = 2$ สู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนพลังงาน 16.33×10^{-19} จูล ถ้าต้องการกระตุ้นให้อะตอมไฮโดรเจนให้เปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 2$ ไปยังสถานะ $n = 3$ จะต้องใช้แสงความถี่เท่าใด
ก. 4.5×10^{14} Hz ข. 5.4×10^{14} Hz ค. 3.0×10^{15} Hz ง. 5.4×10^{15} Hz
- (เอ็นทรานซ์) ในการกระตุ้นให้อะตอมของไฮโดรเจนที่มีระดับพลังงานต่ำสุด (-13.6 eV) ไปอยู่ที่ระดับพลังงาน $n = 4$ สเปกตรัมเส้นที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุดจะมีพลังงานเท่าใด
 ก. 0.66 eV ข. 0.85 eV ค. 10.20 eV **ง. 12.75 eV**
- (เอ็นทรานซ์) อิเล็กตรอนอนุภาคหนึ่งมีพลังงานจลน์เท่ากับ 4eV ถูกจับไว้ด้วยโมเลกุลที่เป็นไอออน ถ้าอิเล็กตรอนหลังถูกจับอยู่ในระดับพลังงาน - 4 eV ในกระบวนการนี้จะมีรังสีความยาวคลื่นเท่าใดปล่อยออกมา
 ก. 145 nm **ข. 155 nm** ค. 245 nm ง. 255 nm
- (เอ็นทรานซ์) สเปกตรัมสีน้ำเงิน ($\lambda = 440$ nm) จากหลอดปรอท มาจากระดับพลังงานสองระดับที่มีพลังงานต่างกันเท่าใด
 ก. 1.85 eV ข. 2.44 eV **ค. 2.81 eV** ง. 3.26 eV

9. (เอ็นทรานซ์) ความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนเส้นแรก (ที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด) ในอนุกรมบัลเมอร์คือ 656 nm โฟตอนที่สามสามารถทำให้อะตอมไฮโดรเจน จากสถานะพื้นแตกตัวเป็นไอออนได้พอดี ควรจะต้องมีความยาวคลื่นเท่าใด
 ก. 151 nm ข. 121 nm **ค. 91 nm** ง. 71 nm
10. (เอ็นทรานซ์) สเปกตรัมเส้นสว่างของอะตอมไฮโดรเจน เส้นสว่างลำดับแรกที่เราเห็นชัดเจนมีความยาวคลื่นมากที่สุดคือ 656 nm ในอนุกรมบัลเมอร์เส้นสว่างลำดับที่สองจะมีความยาวคลื่นเท่าใด
 ก. 356 nm ข. 386 nm ค. 456 nm **ง. 486 nm**
11. (เอ็นทรานซ์) ในอนุกรมบัลเมอร์ สเปกตรัมเส้นสว่างของอะตอมไฮโดรเจนเส้นแรกคือ 657 nm อยากทราบว่า โฟตอนที่สามจะทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนจากสถานะ $n = 2$ หลุดออกจากอะตอมได้พอดีมีความยาวคลื่นเท่าใด
 ก. 265 nm **ข. 365 nm** ค. 465 nm **ง. 565 nm**

19.4.2 การทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์

1. ฟรังค์และเฮิร์ตซ์ได้ทำการทดลองเรื่องการชนกันของอะตอมต่างๆ โดยใช้ประจุอิเล็กตรอนกับอะตอมของปรอท
2. เมื่ออิเล็กตรอนชนกับอะตอมของปรอทจะทำให้เกิดการถ่ายพลังงานจากอิเล็กตรอนไปยังอะตอม และพลังงานที่อะตอมได้รับจะถ่ายทอดต่อไปยังอิเล็กตรอนในอะตอมอีกต่อหนึ่ง ถ้าพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออกมาเป็นอิสระแสดงว่าเกิดการ Ionization

3. จากการทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์ พบว่า

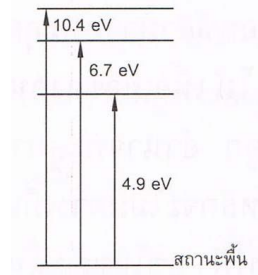
3.1 ถ้าพลังงานจลน์ที่อิเล็กตรอนต่ำกว่า 4.9 eV (ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอิเล็กตรอนต่ำกว่า 4.9 V) การชนระหว่างอิเล็กตรอนและอะตอมของปรอทจะเป็นการชนแบบยืดหยุ่น (elastic collision) คือ E_k ก่อนชนเท่ากับ E_k หลังชนนั้นแสดงว่า อิเล็กตรอนไม่สามารถทำให้อะตอมของปรอทเปลี่ยนระดับพลังงานจาก Ground State ได้ เพราะอะตอมของปรอทไม่สามารถดูดกลืนพลังงานจลน์ที่ต่ำกว่า 4.9 eV ได้

3.2 เมื่อเพิ่มพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนเป็น 4.9 eV ทำให้อะตอมของปรอทเปลี่ยนระดับพลังงานจาก Ground State (E_1) ไปยัง Excited State (E_2) ครั้งแรกสุดของการกระตุ้นได้

3.3 ถ้าเพิ่มพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนขึ้นไปอีก ก็จะกระตุ้นอะตอมของปรอทที่อะตอมที่สอง และอะตอมที่สามได้อีกเรื่อยๆ แต่ทุกอะตอมของปรอทยังคงต้องการพลังงานจลน์ 4.9 eV เหมือนเดิม

3.4 ถ้าอะตอมของปรอทที่ถูกกระตุ้นไปอยู่ในระดับพลังงาน E_2 และจะเปลี่ยนระดับพลังงานเข้าสู่ระดับพลังงาน Ground State (E_1) จะต้องปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า Photon มีพลังงานเท่ากับ 4.9 eV

3.5 ฟรังค์และเฮิร์ตซ์ สรุปการทดลองว่า ในการชนระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอมจะดูดกลืนพลังงานได้เพียงบางจำนวนเท่านั้นซึ่งชี้ให้เห็นว่าระดับพลังงานของอะตอมไม่ต่อเนื่องกันเป็นไปตามทฤษฎีของโบร์ คือ 4.9 , 6.7 , และ 10.4 eV ดังรูป 19.11



รูป 19.11 การรับพลังงานของอะตอมของปรอท

แบบฝึกหัด 19.4.2

- (เอ็นทรานซ์) การทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์ ให้ผลสรุปที่สำคัญ ข้อใด
ก. อิเล็กตรอนชนกับอะตอมแบบยืดหยุ่นเป็นส่วนใหญ่
ข. อิเล็กตรอนชนกับอะตอมแบบไม่ยืดหยุ่น
ค. อะตอมมีระดับพลังงานเป็นขั้น ๆ
ง. กระแสไฟฟ้าผ่านก๊าซที่ความดันต่ำได้
- (เอ็นทรานซ์) ตามการทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์ ข้อสรุปใดไม่จริง
ก. อิเล็กตรอนที่มีพลังงานน้อยกว่า 4.9eV จะมีการชนแบบยืดหยุ่นกับอะตอมของไฮโดรเจน
ข. อิเล็กตรอนที่มีพลังงานมากกว่า 4.9eV จะสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งให้กับอะตอมของไฮโดรเจน
ค. อะตอมของไฮโดรเจนมีค่าพลังงานระดับพื้นเท่ากับ 4.9eV
ง. อะตอมของไฮโดรเจนมีค่าพลังงานเป็นขั้น ๆ ไม่ต่อเนื่อง

19.4.3 รังสีเอกซ์ (X – ray)

เรินต์เกน (Wilhelm Konrad Roentgen) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ได้พบรังสีเอกซ์ โดยบังเอิญ ในปี พ.ศ. 2438 (ค.ศ. 1895) ในขณะที่กำลังทดลองเกี่ยวกับรังสีแคโทด เรินท์เกน คลุมหลอดทดลองด้วยกระดาษดำในห้องทดลองที่มืด ขณะที่ประจุเคลื่อนที่ในหลอด เขาสังเกตเห็นแสงเรืองขึ้นบริเวณโต๊ะที่ทำการทดลอง แสดงว่าต้องมีรังสีบางชนิดที่มองไม่เห็นและสามารถทะลุออกมาจากหลอดแคโทด ซึ่งแสดงว่ามีอำนาจทะลุทะลวงสูง รังสีนี้เขาตั้งชื่อว่า X – ray

คุณสมบัติของรังสีเอกซ์

- ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า
- เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก
- มีอำนาจทะลุทะลวงสูง
- ทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออนได้

5. ทำให้สารเรืองแสงเกิดสารเรืองแสงได้
6. ทำปฏิกิริยากับแผ่นฟิล์ม
7. รังสีเอกซ์มีอันตรายและทำลายเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้
8. เมื่อรังสีเอกซ์ กระทบบนแผ่นโลหะสามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้

การเกิดรังสีเอกซ์

การเกิดรังสีเอกซ์เกิดจากอิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนอะตอมของเป้าทั้งสแตนด์แล้วหยุด จะปลดปล่อยรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงสุด หรือเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ช้าลงจะปลดปล่อยพลังงานค่าต่างๆ เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งชนอะตอมของเป้าแล้วหยุด พลังงานทั้งหมดของอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปของรังสีเอกซ์ ดังนั้น

$$E_{k_{\max}} = eV = hf_{\max}$$

$$eV = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV} \quad \text{หรือ} \quad \lambda_{\min} = \frac{1240}{V} \text{ nm}$$

เมื่อ $\lambda_{\min}$ แทน ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ (m)

h แทน ค่าคงตัวของพลังค์ = 6.6×10^{-34} J/s

e แทน ประจุของอิเล็กตรอน = 1.6×10^{-19} C

V แทน ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งประจุ (V)

c แทน ความเร็วแสง = 3.0×10^8 m/s

แบบฝึกหัด 19.4.3

1. (ม.เชิงใหม่) เมื่อผ่านรังสีเอกซ์เข้าไปในสนามแม่เหล็ก หรือสนามไฟฟ้าแล้ว รังสีเอกซ์
 - ก. ไม่มีการเบี่ยงเบนในทิศทางใด ๆ ในสนามนั้น ๆ
 - ข. เบี่ยงเบนเข้าหาขั้วบวกของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้านั้น
 - ค. เบี่ยงเบนเข้าหาขั้วลบของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้านั้น
 - ง. มีการเคลื่อนที่เป็นรูปคลื่นไซน์
2. (ม.สงขลา) ข้อความต่อไปนี้ข้อใดถูก
 1. ลำรังสีแคโทดคือลำอนุภาคอิเล็กตรอน
 2. รังสีเอกซ์ต่อเนื่องและรังสีเอกซ์เฉพาะตัวต่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
 3. ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกแสดงคุณสมบัติแบบคลื่น

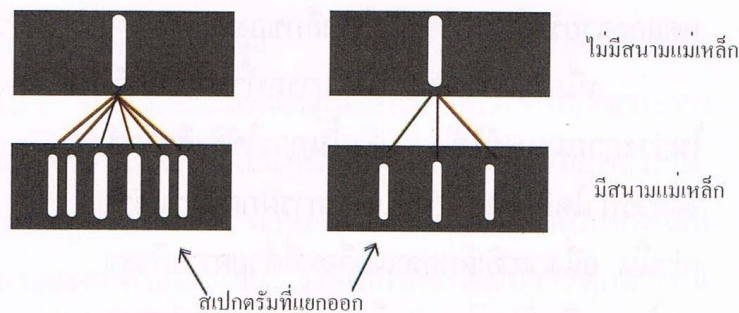
ก. 1 และ 2 ข. 1 และ 3 ค. 2 และ 3 ง. 1 เท่านั้น
3. (เอ็นทรานซ์) หลอดรังสีเอกซ์หลอดหนึ่ง มีความต่างศักย์ระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด 11,000 โวลต์ จงหาว่ารังสีเอกซ์ที่ผลิตได้จะมีความยาวคลื่นสั้นที่สุดเท่าไร

ก. 0.11 nm ข. 0.22 nm ค. 0.33 nm ง. 0.44 nm

4. (ม.เชียงใหม่) อิเล็กตรอนถูกเร่งในหลอดโทรทัศน์ด้วยความต่างศักย์ประมาณ 10,000 โวลต์ เมื่ออิเล็กตรอนกระทบจอโทรทัศน์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากจอโทรทัศน์มีความยาวคลื่นได้สั้นสุดคือ
- ก. $4.1 \times 10^{-9} \text{ m}$ ข. $1.2 \times 10^{-10} \text{ m}$ ค. $8.0 \times 10^{-9} \text{ m}$ ง. $2.4 \times 10^{-18} \text{ m}$
5. (เอ็นทรานซ์) เครื่องมือผลิตรังสีเอกซ์เครื่องหนึ่งมีความต่างศักย์ระหว่างแคโทดและแอโนดเป็น 18,000 โวลต์ ความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดของรังสีเอกซ์ที่ได้เท่าไร
- ก. $4.9 \times 10^{-11} \text{ m}$ ข. $6.9 \times 10^{-11} \text{ m}$ ค. $8.9 \times 10^{-11} \text{ m}$ ง. $9.9 \times 10^{-11} \text{ m}$

19.4.4 ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมของโบว์

- ทฤษฎีอะตอมของโบว์สามารถอธิบายถึงการจัดเรียงอิเล็กตรอนและสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจนได้ แต่ไม่สามารถอธิบายการจัดเรียงอิเล็กตรอนและสเปกตรัมของอะตอมอื่นๆ ได้
- ทฤษฎีอะตอมของโบว์ไม่สามารถอธิบายได้ว่าอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสด้วยความเร่ง เพราะสาเหตุใดไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา
- ทฤษฎีอะตอมของโบว์ไม่สามารถอธิบายได้ว่า เพราะสาเหตุใดอะตอมที่อยู่ในสนามแม่เหล็กเส้นสเปกตรัมเส้นหนึ่งๆ แยกออกเป็นหลายเส้นได้ดังรูป

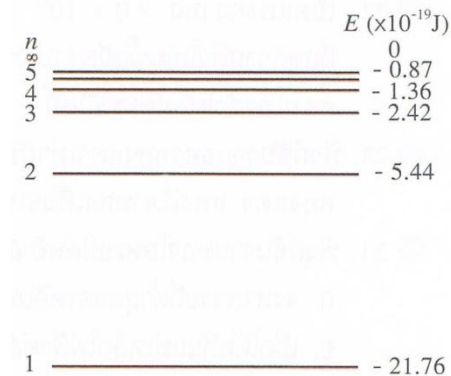


รูป 19.12 สเปกตรัมเส้นเมื่ออะตอมอยู่ในสนามแม่เหล็ก

แบบฝึกหัด 19.4

- โบว์ได้ตั้งสมมติฐานสองข้อเพื่อชี้กับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด สมมติฐานทั้งสองข้อกล่าวอย่างไร
- จงอธิบายระดับพลังงาน สถานะพื้นและสถานะถูกกระตุ้น
- อะตอมของไฮโดรเจนมีอิเล็กตรอนหนึ่งตัว แต่เหตุใดสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจนจึงมีหลายเส้น
- จูลและอิเล็กตรอนโวลต์เป็นหน่วยของอะไร หน่วยทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างไร
- จงอธิบายความหมายของพลังงานยึดเหนี่ยว ถ้าต้องการทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนหลุดจากอะตอมต้องใช้พลังงานเท่าใด
- การทดลองของฟรังค์และเฮริตซ์ แสดงให้เห็นว่าพลังงานของอะตอมมีค่าเป็นขั้นไม่ต่อเนื่องกัน ยังมีปริมาณอื่นที่มีค่าไม่ต่อเนื่องอีกหรือไม่ จงยกตัวอย่าง
- จงอธิบายการเกิดรังสีเอกซ์โดยหลอดรังสี

- 1.8 การทดลองหรือปรากฏการณ์ใดบ้างที่สนับสนุนว่าอะตอมมีพลังงานเป็นขั้น ๆ
- 2.1 จงหาความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนหรือเปล่งออกมาจากอะตอมไฮโดรเจนเมื่ออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 1$ ไปยัง $n = 3$ และจาก $n = 6$ ไปยัง $n = 3$ ($2.92 \times 10^{15} \text{ Hz}$, $2.74 \times 10^{14} \text{ Hz}$)
- 2.2 จากทฤษฎีอะตอมของโบร์ จงหารัศมีวงจรรและอัตราเร็วของอิเล็กตรอนในวงจรรที่ $n = 2$ และหาความถี่ของอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสในวงโคจรรนี้ ($2.12 \times 10^{-10} \text{ m}$, $1.09 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $8.19 \times 10^{14} \text{ Hz}$)
- 2.3 ความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมสีแดงในอนุกรมบัลเมอร์ของสเปกตรัมไฮโดรเจนมีค่า 656.2 นาโนเมตร ผลต่างของระดับพลังงานสองระดับที่ทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมสีแดงเส้นนี้ มีค่ากี่อิเล็กตรอนโวลต์ (1.89 eV)
- 2.4 ระดับพลังงานของอะตอมไฮโดรเจนตั้งแต่ $n = 1$ ถึง $n = \infty$ แสดงดังรูป
- ก. อะตอมไฮโดรเจนมักอยู่ในสถานะที่ n มีค่าเท่าใด
- ข. สเปกตรัมเส้นหนึ่งมีพลังงานเท่ากับ 2.86 อิเล็กตรอนโวลต์ สเปกตรัมเส้นนี้เกิดจากระดับใดไปสู่ระดับใด
- ค. เส้นสเปกตรัมในข้อ ข. อยู่ในอนุกรมใดและ มีความยาวคลื่นเท่าใด ตามมองเห็นหรือไม่ (435 nm)



- 2.5 อิเล็กตรอนตัวหนึ่งโคจรรอบนิวเคลียสของอะตอมไฮโดรเจน โดยมี $n = 3$ จงหา
- ก. รัศมีของวงโคจร ($4.8 \times 10^{-10} \text{ m}$)
- ข. ถ้าอิเล็กตรอนกลับสู่สถานะพื้น จะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นเท่าใด (103, 659, 122 nm)
- 2.6 ในการทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์พบว่า นอกจากอะตอมปรอทจะดูดกลืนพลังงาน 4.9 อิเล็กตรอนโวลต์แล้วยังดูดกลืนพลังงานปริมาณอื่นๆ เช่น 6.7 และ 10.4 อิเล็กตรอนโวลต์อีกด้วย ในการชนกันระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอมปรอท ถ้าอิเล็กตรอนที่เข้าชนมีพลังงานเป็น 4.0, 6.0, 9.0 และ 11.0 อิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับในแต่ละกรณี จงหาความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อะตอมปรอทเปล่งออกมาเมื่อกลับสู่สถานะพื้นตามเดิม (253.7 nm, 185.5 nm, 119.5 nm)
- 2.7 ถ้าความต่างศักย์ซึ่งใช้เร่งอิเล็กตรอนในหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์มีค่าเท่ากับ 1000 โวลต์ จงหาพลังงานสูงสุดของรังสีเอกซ์ที่เปล่งออกมาจากหลอดนี้ ($2.56 \times 10^{-15} \text{ J}$)

2.8 อิเล็กตรอนถูกเร่งในหลอดรังสีเอกซ์จนมีพลังงานจลน์สูงสุดเท่ากับ 40 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เข้ากะทบเป้าโลหะและปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา จงหา

ก. พลังงานสูงสุดของรังสีเอกซ์ในหน่วยจูล (6.4×10^{-15} J)

ข. ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอิเล็กตรอน (4.0×10^4 V)

ค. ความถี่สูงสุดของรังสีเอกซ์ (9.7×10^{18} Hz)

2.9 อิเล็กตรอนในหลอดภาพโทรทัศน์สีถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ 24 กิโลโวลต์ เมื่ออิเล็กตรอนกระทบจอภาพจะมีรังสีเอกซ์เกิดขึ้น จงหาความถี่สูงสุดและความยาวคลื่นที่น้อยที่สุดของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้น (5.8×10^{18} Hz , 5.18×10^{-11} m)

19.5 ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค (Wave-Particle dualify)

1. เราทราบว่าแสงแสดงคุณสมบัติเป็นคลื่นเพราะ แสดงการเลี้ยวเบนและการแทรกสอด
2. จากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ไอน์สไตน์คิดว่า โฟตอนเป็นอนุภาค
3. มิเกลเกินทคลองและสรุปว่า แสงเป็นอนุภาค
4. เดอ บรอยล์ (de Broglie) ให้แนวคิดว่า “ถ้าแสงแสดงคุณสมบัติเป็นได้ทั้งอนุภาคและคลื่นแล้ว

สสารทั้งหลายแสดงคุณสมบัติของคลื่นได้เนื่องจากสสารประกอบด้วยอนุภาค

19.5.1 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect)

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก คือ ปรากฏการณ์ที่ฉายแสงที่มีความถี่สูงตกกระทบผิวโลหะแล้วทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลบ(อิเล็กตรอน) หลุดออกมาจากโลหะได้ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาเรียกว่าโฟโตอิเล็กตรอน ผลการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สรุปได้ดังนี้

1. โฟโตอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้น เมื่อแสงที่ตกกระทบโลหะมีความถี่ไม่น้อยกว่าค่าความถี่ขีดต่ำค่าหนึ่ง เรียกว่า ค่าความถี่ขีดเริ่ม (f_0)

2. จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้น เมื่อแสงที่ใช้มีความเข้มแสงมากขึ้น

3. พลังงานจลน์สูงสุด $E_k(\text{max})$ ของอิเล็กตรอนไม่ขึ้นกับความเข้มแสง แต่ขึ้นกับค่าความถี่แสง

4. พลังงานจลน์สูงสุดมีค่าเท่ากับความต่างศักย์หยุดยั้ง

แสงมีสมบัติเป็นก้อนพลังงาน (photon) เมื่อกระทบกับผิวโลหะจะถ่ายโอนพลังงานให้กับอิเล็กตรอนของโลหะทั้งหมด hf พลังงานส่วนหนึ่ง (hf_0) ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะได้ ซึ่งเท่ากับพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนของโลหะ เรียกว่า (work function) ใช้สัญลักษณ์ (W) และพลังงานที่เหลือเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนซึ่งเท่ากับพลังงานที่ใช้หยุดยั้งอิเล็กตรอนนี้ (eV_s) ตามสูตร

$$E = hf - W$$

โดยพลังงานของอิเล็กตรอนจะอยู่ในรูป $E = \frac{1}{2}mv^2$ หรืออาจวัดจากความต่างศักย์หยุดยั้ง V_s คือความต่างศักย์ที่ใช้หยุดอิเล็กตรอนได้พอดีซึ่งจะได้ว่า $E = eV_s$ (จูล) = V_s (eV)

สมการของพลังงานโฟโตอิเล็กตรอนจึงเขียนได้เป็น

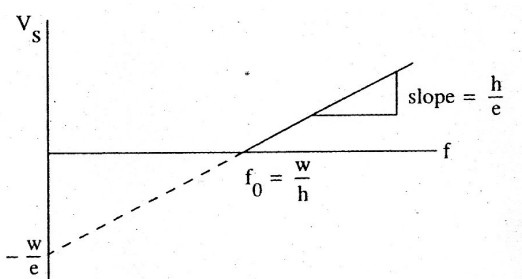
$$Ek_{\max} = eV_s = hf - W$$

$$eV_s = hf - hf_0 \quad \text{เมื่อ } W = hf_0$$

$$V_s = \left(\frac{h}{e}\right)f - \left(\frac{h}{e}\right)f_0$$

$$V_s = \left(\frac{h}{e}\right)f - \frac{W}{e}$$

กราฟระหว่าง V_s กับ f จากสมการ $V_s = \left(\frac{h}{e}\right)f - \frac{W}{e}$



จะได้ ความชันกราฟ = $\frac{h}{e}$

จุดตัดแกนนอน = f_0 (ความถี่ขีดเริ่ม)

จุดตัดแกนตั้ง = $-\frac{W}{e}$

หมายเหตุ กรณีต้องการหาจำนวนของโฟตอนจะหาได้จาก

$$E = n(hf)$$

แบบฝึกหัด 19.5.1

- (เอ็นทรานซ์) จากการทดลองเพื่อศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ข้อสรุปต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง
 - พลังงานสูงสุดของอิเล็กตรอนขึ้นกับความเข้มของแสงเท่านั้น
 - สำหรับแสงที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่ม จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะเพิ่มมากขึ้นเป็นปฏิกากับความถี่ที่เพิ่มขึ้น
 - เนื่องจากแสงมีสมบัติเป็นคลื่นเมื่อมีความเข้มสูงก็จะมีพลังงานมาก ทำให้โฟโตอิเล็กตรอนมีพลังงานมากด้วย
 - เมื่อแสงที่ตกกระทบโลหะมีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่มจะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนขึ้น

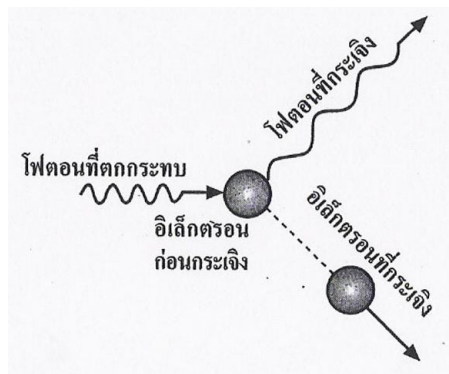
ก. ข้อ 1 และ 3 ข. ข้อ 2 และ 4 **ค. ข้อ 4 เท่านั้น** ง. คำตอบเป็นอย่างอื่น
- (ม.เชียงใหม่) จากการศึกษารายการปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สรุปได้ว่า
 - เมื่อแสงมีความถี่เท่ากับความถี่ขีดเริ่ม ตกกระทบที่ผิวโลหะ จะไม่มีอิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะ
 - แสงที่มีความถี่ค่าเดียวตกกระทบผิวโลหะต่างชนิดกัน จะให้โฟโตอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงสุดเท่ากัน
 - เมื่อเพิ่มความเข้มแสงที่ตกกระทบผิวโลหะ กระแสโฟโตอิเล็กตรอนจะมีค่าเพิ่มขึ้น**
 - เมื่อเพิ่มความเข้มแสงที่ตกกระทบผิวโลหะ จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะเท่าเดิมแต่มีพลังงานสูงขึ้น

3. (ม.ขอนแก่น)เป็นที่ทราบกันแล้วว่า อิเล็กตรอนในโลหะสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และมักจะพบเสมอว่าอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่อยู่ตามบริเวณผิวของโลหะ เหตุที่อิเล็กตรอนไม่เคลื่อนที่ต่อไปในอากาศเพื่อหนีออกจากโลหะเพราะ
 - ก. อากาศไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า
 - ข. อิเล็กตรอนมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของโลหะ
 - ค. อากาศมีแรงเสียดทานมาก
 - ง. อิเล็กตรอนถูกอะตอมของโลหะยึดจับไว้
4. (ม.เชียงใหม่) พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนนั้น
 - ก. ไม่ขึ้นกับความเข้มของแสงที่ตกกระทบบ
 - ข. ขึ้นกับกำลังหนึ่งของความเข้มของแสงที่ตกกระทบบ
 - ค. ขึ้นกับกำลังสองของความเข้มของแสงที่ตกกระทบบ
 - ง. ขึ้นกับรากที่สองของความเข้มของแสงที่ตกกระทบบ
5. (ม.เชียงใหม่) กำหนดให้ฟังก์ชันงานของแท่นทาลัมและทองคำเป็น 4.2 eV และ 4.8 eV ตามลำดับ อยากทราบว่าต้องการฉายแสงที่มีความยาวคลื่น 270 nm ลงไปบนวัตถุใดจึงจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
 - ก. ไม่เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
 - ข. แท่นทาลัม
 - ค. ทองคำ
 - ง. แท่นทาลัมและทองคำ
6. (เอ็นทรานซ์) โลหะสามชนิดประกอบด้วย ซีเซียม (Cs) แบเรียม (Ba) และแคลเซียม (Ca) มีฟังก์ชันงานเป็น 1.8 , 2.5 และ 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ตามลำดับ ถ้ามีแสงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ตกกระทบบนโลหะทั้งสาม โลหะชนิดใดจะแสดงปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
 - ก. Cs
 - ข. Cs และ Ba
 - ค. Cs , Ba และ Ca
 - ง. ไม่เกิดเลย
7. จงหาความต่างศักย์ที่ใช้ในการหยุดโฟโตอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงสุดจากแผ่นโลหะแบเรียมเมื่อมีแสงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ตกกระทบบ กำหนดให้ฟังก์ชันงานของแบเรียมเป็น 2.5 อิเล็กตรอนโวลต์ และผลคูณระหว่างค่าคงตัวพลังค์กับความเร็วแสงในสุญญากาศ $1240\text{ eV} \cdot \text{nm}$
 - ก. 0.6 โวลต์
 - ข. 2.5 โวลต์
 - ค. 3.1 โวลต์
 - ง. 5.6 โวลต์
8. (เอ็นทรานซ์) เมื่อฉายรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ไปที่ผิวโลหะชนิดหนึ่งที่มีค่าพลังงานยึดเหนี่ยว 1.8 eV โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะจะมีพลังงานจลน์เท่าใด
 - ก. 0 eV
 - ข. 0.5 eV
 - ค. 1.3 eV
 - ง. 1.8 eV
9. (เอ็นทรานซ์) โลหะชนิดหนึ่งมีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ 2.0 eV ถ้ามีแสงที่มีความยาวคลื่น 100 nm มากระทบบ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนที่ออกมาจะมีค่าเท่าใด
 - ก. 6.4 eV
 - ข. 10.4 eV
 - ค. 14.4 eV
 - ง. 18.4 eV
10. (เอ็นทรานซ์) ในการทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ใช้แสงความถี่ $7 \times 10^{14}\text{ Hz}$ ตกกระทบบนผิวโลหะที่มีค่าฟังก์ชันงานเท่ากับ 2.3 eV จงหาความต่างศักย์หยุดยั้งของโฟโตอิเล็กตรอนนี้
 - ก. 0.6 โวลต์
 - ข. 2.3 โวลต์
 - ค. 2.9 โวลต์
 - ง. 5.2 โวลต์

11. (เอ็นทรานซ์) เมื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่น 450 nm ตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง ปรากฏว่าต้องใช้ความต่างศักย์ในการหยุดยั้งโฟโตอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.5 โวลต์ ถ้าต้องการให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะได้พอดี ต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใด
- ก. 330 nm ข. 660 nm **ค. 990 nm** ง. 1,220 nm
12. (เอ็นทรานซ์) กำหนดให้ฟังก์ชันงานของโลหะชนิดหนึ่ง 4.80 eV จะต้องฉายแสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใดจึงจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากขั้วแคโทด ที่ทำจากโลหะดังกล่าวแล้วสามารถไปถึงขั้วแอโนดได้พอดี เมื่อศักย์ไฟฟ้าที่แอโนดต่ำกว่าแคโทดเท่ากับ 80 โวลต์
- ก. 125.50 nm ข. 156.50 nm ค. 167.50 nm **ง. 187.50 nm**
13. (เอ็นทรานซ์) ลวดแมกนีเซียมมีพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอน 3.79 eV ถูกฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเลตซึ่งมีความยาวคลื่น 300 nm โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะมีพลังงานจลน์มากที่สุดเท่าใด (กำหนดให้ $h = 6.64 \times 10^{-34}$ J.s)
- ก. 0.29 eV **ข. 0.36 eV** ค. 0.48 eV ง. 0.62 eV

19.5.2 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน

คอมป์ตัน ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์และขนาดของมุมการกระเจิงกับความยาวคลื่นกระเจิงของรังสีเอกซ์ จากการฉายรังสีเอกซ์ให้ไปกระทบกับอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ พบว่าความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาแปรผันกับมุมที่กระเจิง แต่ไม่ขึ้นกับความเข้มของรังสีเอกซ์ที่กระทบกับอิเล็กตรอน



รูป 19.13 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน

จากปรากฏการณ์อธิบายโดยอาศัยหลักแนวคิดของไอน์สไตน์ได้ว่าการชนระหว่างรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนของแกรไฟต์เป็นการชนระหว่างอนุภาคกับอนุภาค โดยเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม ดังนี้

1. รังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาโดยมีความยาวคลื่นเท่าเดิม แสดงว่าโฟตอนของรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ชนกันแบบยืดหยุ่น
2. รังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาโดยมีความยาวคลื่นไม่เท่าเดิม แสดงว่า โฟตอนของรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น

19.5.3 สมมติฐานของเดอ บรอยล์

ในปี ค. ศ. 1924 นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสชื่อหลุยส์ เดอ บรอยล์ (Louis de Broglie) ได้ให้ความเห็นว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งคลื่นแสงและอนุภาค กล่าวคือในกรณีที่แสงมีการเลี้ยวเบนและการสอดแทรก แสดงว่าขณะนั้นแสงประพฤติตัวเป็นคลื่น สำหรับกรณีแสงในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก แสดงว่าแสงเป็นอนุภาค ฉะนั้นสารทั่วไปที่มีคุณสมบัติเป็นอนุภาคก็น่าจะมีคุณสมบัติทางด้านคลื่นด้วย เดอ บรอยล์ ได้พยายามหาความยาวคลื่นของคลื่นมวลสาร โดยทั่วไปเริ่มจากความยาวคลื่นของแสงก่อนดังต่อไปนี้

ถ้าแสงมีความถี่ f จะให้พลังงานออกมาเป็นอนุภาคเรียกว่าโฟตอนซึ่งมีขนาด

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับมวลของไอน์สไตน์

$$E = mc^2 \text{ และ } E = hf$$

เดอ บรอยล์ หาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมและความยาวคลื่นของแสงได้ดังนี้

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

เมื่อ p คือ โมเมนตัมของโฟตอน (N.s)

λ คือ ความยาวคลื่นของโฟตอน (m)

จะได้ว่า

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

เมื่อ λ แทน ความยาวคลื่นของอนุภาค (m)

m แทน มวลของอนุภาค (kg)

p แทน โมเมนตัมของอนุภาค (N.s)

v แทน ความเร็วของอนุภาค (m/s)

ความยาวคลื่นของอนุภาคหรือความยาวคลื่นสารนี้ เรียกว่า ความยาวคลื่น เดอ บรอยล์ นั่นเอง

แบบฝึกหัด 19.5.3

- (เอ็นทรานซ์) รถยนต์คันหนึ่งมีมวล 1,000 กิโลกรัม แล่นด้วยความเร็ว 72 กม/ชม. ถ้าคิดารถยนต์คันนี้เป็นคลื่นจะมีความยาวคลื่นเดอ บรอยล์เท่าใด (กำหนดค่าคงที่ของพลังค์เท่ากับ 6.6×10^{-34} จูล-วินาที)

ก. 0.92×10^{-38} m ข. 3.3×10^{-38} m ค. 0.33×10^{-38} m ง. 1.1×10^{-38} m
- (เอ็นทรานซ์) อิเล็กตรอนซึ่งมีมวลประมาณ 9×10^{-31} kg เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 3×10^6 m/s วัสดุในข้อใดเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอน

ก. ฟลิทซึ่งมีระยะห่างระหว่างระนาบประมาณ 10^{-10} เมตร

ข. เกรตติงซึ่งมีระยะห่างระหว่างช่องประมาณ 10^{-6} เมตร

ค. แผ่นโลหะบางเจาะรูให้มีช่องคู่ห่างกันประมาณ 10^{-3} เมตร

ง. สลิตเดี่ยวที่มีความกว้างของช่องประมาณ 10^{-2} เมตร

3. (เอ็นทรานซ์) อิเล็กตรอนตัวหนึ่งจะต้องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่าใด จึงจะมีโมเมนตัม เป็นหนึ่งในสิบของโมเมนตัมของโฟตอนของแสงความถี่ 4.5×10^{14} เฮิรตซ์ (มวลอิเล็กตรอน = 9×10^{-31} kg)

ก. 100 m/s ข. 110 m/s ค. 130 m/s ง. 150 m/s
4. (เอ็นทรานซ์) จงหาความยาวคลื่นของอิเล็กตรอน ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยพลังงาน 5 อิเล็กตรอนโวลต์

ก. 0.55 nm ข. 0.85 nm ค. 0.95 nm ง. 1.10 nm
5. (เอ็นทรานซ์) ความยาวคลื่นของเคอบรอยล์ของอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.10 นาโนเมตร พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนมีค่าเท่าไร

ก. 2.4×10^{-17} J ข. 4.8×10^{-17} J ค. 2.0×10^{-16} J ง. 1.0×10^{-15} J
6. (เอ็นทรานซ์) อนุภาคมวล m มีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าของพลังงานจลน์เดิม ความยาวคลื่นเคอบรอยล์ของอนุภาคนี้ในครั้งหลังจะเป็นกี่เท่าของความยาวคลื่นเคอบรอยล์ครั้งแรก

ก. $\frac{1}{2}$ เท่า ข. 2 เท่า ค. 4 เท่า ง. 8 เท่า
7. (เอ็นทรานซ์) ไฮโดรเจนไอออน(H^+) และฮีเลียมไอออน (He^+) ถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า 10^6 โวลต์ ไฮโดรเจนไอออนจะมีความยาวคลื่นเคอบรอยล์เป็นกี่เท่าของฮีเลียมไอออน

ก. $\sqrt{2}$ เท่า ข. $\frac{1}{2}$ เท่า ค. 2 เท่า ง. 4 เท่า
8. (เอ็นทรานซ์) ถ้ามวลของอนุภาค A เป็นครึ่งหนึ่งของมวลอนุภาค B เมื่ออนุภาคทั้งสองมีพลังงานเท่ากัน อนุภาค A จะประพฤติตัวเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นเป็นกี่เท่าของอนุภาค B

ก. $\frac{1}{2}$ เท่า ข. $\frac{1}{\sqrt{2}}$ เท่า ค. $\sqrt{2}$ เท่า ง. 2 เท่า
9. (เอ็นทรานซ์) อนุภาค A มีมวลเป็น $\frac{1}{4}$ เท่าของอนุภาค B ถ้าอนุภาคทั้งสองมีพลังงานจลน์เท่ากัน ความยาวคลื่นเคอบรอยล์ของอนุภาค A เป็นกี่เท่าของอนุภาค B

ก. $\frac{1}{4}$ เท่า ข. $\frac{1}{2}$ เท่า ค. 2 เท่า ง. 4 เท่า
10. (เอ็นทรานซ์) ปรากฏการณ์ชนิดใดที่แสดงว่าอนุภาคแสดงสมบัติของคลื่นได้

ก. ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ข. ปรากฏการณ์คอมพ์ตัน
ค. ปรากฏการณ์แทรกสอดของโฟตอน ง. ปรากฏการณ์เลี้ยวเบนของอิเล็กตรอน
11. (เอ็นทรานซ์) จากทฤษฎีของ เดอ บรอยล์ เส้นรอบวงของวงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสมีค่าเป็นเท่าใด

ก. ค่านี้ของแพลตฟอร์มด้วยความยาวคลื่นของอิเล็กตรอน
ข. ค่านี้ของแพลตฟอร์มด้วยเลขจำนวนเต็ม หาคด้วย 2π
ค. ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนคูณด้วยเลขจำนวนเต็ม
ง. ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนหารด้วยความเร็วแสง

แบบฝึกหัด 19.5

- 1.1 จงบอกความแตกต่างระหว่างอิเล็กตรอนและโฟตอน
- 1.2 แสงที่มีความถี่ค่าเดียวตกกระทบผิวโลหะต่างชนิดกัน จะให้โฟโตอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงสุดเท่ากันหรือไม่ เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
- 1.3 ในการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
 - ก. ถ้าเพิ่มความเข้มแสงกระแสโฟโตอิเล็กตรอนจะเป็นอย่างไร
 - ข. ถ้าลดความถี่ของแสงที่ใช้ลงไปเรื่อยๆ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนจะเป็นอย่างไร
- 1.4 ถ้าโฟตอนของรังสีเอกซ์ถูกกระเจิงโดยอิเล็กตรอนอิสระ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์จะเปลี่ยนอย่างไรเท่าเดิม เพิ่มขึ้นหรือลดลง
- 1.5 ในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและปรากฏการณ์คอมป์ตัน โฟตอนที่กระทบอิเล็กตรอนจะทำให้อิเล็กตรอนหลุด แต่ความแตกต่างระหว่างปรากฏการณ์ทั้งสองคืออะไร
- 1.6 ขณะที่อัตราเร็วของอนุภาคชนิดหนึ่งเพิ่มขึ้น ความยาวคลื่นของอนุภาคจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร
- 1.7 ถ้าอิเล็กตรอนและโปรตอนมีอัตราเร็วเท่ากัน อนุภาคใดมีความยาวคลื่นเดอบรอยล์มากกว่า
- 1.8 ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาคคืออะไร ใช้อธิบายสมมติฐานของโบร์ที่ว่า อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสโดยไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในกรณีใด
- 2.1 จงหาพลังงานโฟตอนของแสงสีเขียว (ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร) และแสงสีแดง (ความยาวคลื่น 680 nm) ในหน่วยจูลและอิเล็กตรอนโวลต์ (3.62×10^{-19} J หรือ 2.26 eV, 2.93×10^{-19} J หรือ 1.83 eV)
- 2.2 โฟตอนของรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่น 30 พิโกเมตร จะมีความถี่และพลังงานเท่าใด
(1.0×10^{19} Hz, 6.6×10^{-15} J หรือ 41.4 keV)
- 2.3 โฟตอนของรังสีชนิดหนึ่งมีพลังงาน 12.4 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จะมีความถี่และความยาวคลื่นเท่าใด
(2.99×10^{18} Hz, 0.10 nm)
- 2.4 เมื่อแสงความถี่ 8.0×10^{14} เฮิร์ตซ์ ตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง ทำให้โฟตอนอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะนั้นมีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 7.0×10^5 เมตรต่อวินาที จงหาความถี่ขีดเริ่มของแสงสำหรับโลหะชนิดนี้ (4.6×10^{14} Hz)
- 2.5 พลังงานของทองแดงเท่ากับ 7.4×10^{-19} จูล จงหาความถี่ขีดเริ่มของแสงที่ใช้สำหรับทองแดง แสงที่ตามองเห็นจะทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนจากทองแดงได้หรือไม่ (1.1×10^{15} Hz)
- 2.6 พลังงานงานของโลหะชนิดหนึ่งมีค่า 3.3×10^{-19} จูล
 - ก. จงหาความถี่ค่าสุดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกกับโลหะนี้
(50×10^{13} J)
 - ข. เมื่อให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อไปนี้ตกกระทบโลหะจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกหรือไม่
 - ก. คลื่นที่มีความยาวคลื่น 5.0×10^{-7} เมตร (ไม่เกิด)
 - ข. คลื่นที่มีความถี่ 4.0×10^{14} เฮิร์ตซ์ (ไม่เกิด)

2.7 รั้งสีอัลตราไวโอเลตความถี่ 3.0×10^{16} เฮิร์ตซ์ ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดจากอะตอมของธาตุชนิดหนึ่ง มีพลังงานจลน์ 5.0×10^{-18} จูล

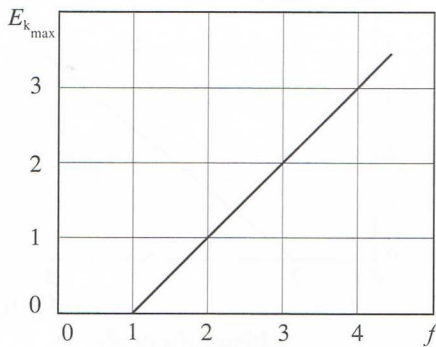
ก. พลังงานน้อยที่สุดที่ทำให้ให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม (1.5×10^{-17} J)

ข. ความถี่ต่ำสุดที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกกับธาตุนี้ (2.25×10^{16})

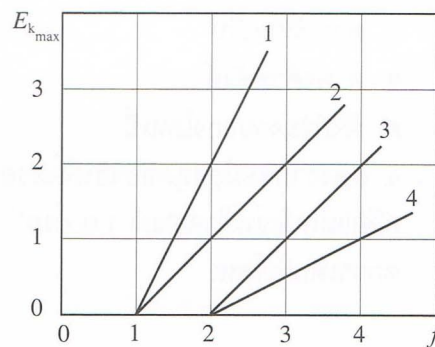
2.8 ในการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกโดยให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มคงที่ I_0 แต่มีความถี่ต่างๆ ตกกระทบโลหะชนิดหนึ่ง พบว่าพลังงานจลน์สูงสุด $E_{K \max}$ ของโฟโตอิเล็กตรอนและความถี่ f ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบ มีความสัมพันธ์ดังกราฟรูป ก. จงใช้กราฟรูป ข. (ซึ่งมีสเกลเดียวกับรูป ก.) ตอบคำถามต่อไปนี้

ก. ถ้าความเข้มเพิ่มเป็น $2 I_0$ ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_{K \max}$ และ f จะเป็นเส้นใด (-)

ข. ถ้าความเข้มขึ้น I_0 เท่าเดิม แต่เปลี่ยนผิวโลหะเดิมด้วยโลหะใหม่ที่มีฟังก์ชันงานเป็น 2 เท่าของโลหะเดิม ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_{K \max}$ และ f จะเป็นเส้นใด (-)



ก.



ข.

2.9 ในการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ผู้ทดลองได้บันทึกความถี่และความต่างศักย์หยุดยั้ง V_s ดังตาราง

$f (\times 10^{14} \text{ Hz})$	12.0	9.5	8.2	5.5
$V_s \text{ (V)}$	3.00	2.10	1.60	0.50

ก. เขียนกราฟระหว่าง f กับ V_s โดยให้ f อยู่บนแกนนอนและ V_s อยู่บนแกนตั้ง

ข. จากกราฟในข้อ ก ความถี่ขีดเริ่ม ค่าคงตัวพลังค์ และฟังก์ชันงานมีค่าประมาณเท่าใด ($4.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$, $6.0 \times 10^{-34} \text{ Js}$, 2.4×10^{-18})

2.10 หลอดโซเดียมขนาด 100 วัตต์ ให้แสงสีเหลืองที่มีความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร จงหาพลังงานโฟตอนของแสงสีเหลืองและจำนวนโฟตอนที่ถูกปล่อยออกจากหลอดใน 1 วินาที ($3.37 \times 10^{-19} \text{ J}$, 2.97×10^{30})

2.11 คนที่อยู่กลางแดดในตอนกลางวันเป็นเวลานานๆ จะทำให้ผิวหนังคล้ำ จากการศึกษพบว่าพลังงานโฟตอนของแสงแดดทำให้ผิวคล้ำ มีค่าประมาณ 3.50 อิเล็กตรอนโวลต์ จงหาความยาวคลื่นของโฟตอนและความยาวคลื่นของโฟตอนที่คำนวณได้นี้ อยู่ในช่วงรังสีชนิดใดในสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (355 nm)

2.12 ในการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ถ้าใช้โลหะที่ใช้ในการทดลองมีฟังก์ชันงานเท่ากับ

1.10×10^{-19} จูล โฟตอนของแสงที่มีความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะนี้มีความเร็วสูงสุดเท่าใด และความต่างศักย์หยุดยั้งสำหรับการทดลองนี้มีค่าเท่าใด (6.97×10^5 m/s, 1.38 V)

2.13 ความถี่ขีดเริ่มของแสงสำหรับผิวโซเดียมเท่ากับ 5.6×10^{14} เฮิรตซ์ จงหา

ก. พลังงานที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวของโซเดียมเป็นอิเล็กตรอนโวลต์ (2.3 eV)

ข. ความเร็วสูงสุดของของโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวของโซเดียมเมื่อมีแสงความยาวคลื่น

2.0×10^{-7} เมตร ตกกระทบ (1.2×10^6 m/s)

2.14 ในการศึกษาโฟโตอิเล็กทริกพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์สูงสุด $E_{k \max}$ ของโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะชนิดหนึ่งและความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบผิวโลหะนั้นเป็นเส้นตรงดังกราฟจงหา

ก. ความถี่ขีดเริ่ม

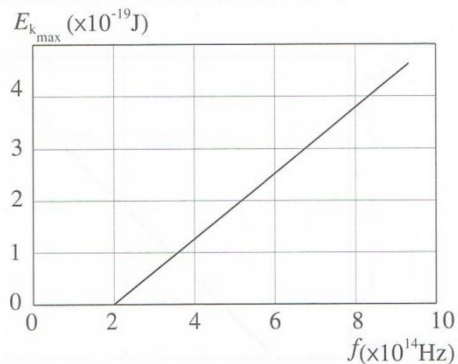
ข. ค่าคงตัวพลังค์

ค. ฟังก์ชันงานของโลหะนี้

ง. พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน ถ้ามี

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ 1.0×10^{15} เฮิรตซ์

ตกกระทบผิวโลหะ



2.15 จงหาความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของวัสดุต่อไปนี้

ก. อนุภาคมวล 1.0 กรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.0×10^3 เมตรต่อวินาที (3.3×10^{-34} m)

ข. อิเล็กตรอนมวล 9.11×10^{-31} กิโลกรัม มีพลังงานจลน์ 3.0 อิเล็กตรอนโวลต์ (7.1×10^{-10} m)

ค. วัตถุมวล 0.1 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.0×10^{-3} เมตรต่อวินาที (6.6×10^{-31} m)

2.16 เครื่องผลิตเลเซอร์ที่ผลิตในห้องวิทยาศาสตร์เครื่องหนึ่ง ให้เลเซอร์ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

ถ้าเลเซอร์ที่ปล่อยออกมามีกำลัง 1.0 มิลลิวัตต์ จงหา

ก. พลังงานของโฟตอนแต่ละตัวของเลเซอร์ (3.14×10^{-19} J)

ข. จำนวนโฟตอนของเลเซอร์ที่ผลิตได้ 1 วินาที (3.2×10^{15} โฟตอน)

ค. โมเมนตัมของโฟตอนแต่ละตัว (1.05×10^{-27} kg m/s)

2.17 โฟตอน ก มีพลังงานเป็นสองเท่าของโฟตอน ข โมเมนตัมของโฟตอน ก จะเป็นกี่เท่าของโฟตอน ข

2.18 เครื่องผลิตเลเซอร์ที่ใช้ในห้องทดลองวิทยาศาสตร์เครื่องหนึ่ง ให้เลเซอร์ความยาวคลื่น 632.8 nm

ถ้าเลเซอร์ที่ปล่อยออกมามีกำลัง 1.0 มิลลิวัตต์ จงหา

ก. พลังงานของโฟตอนแต่ละตัวของเลเซอร์ (3.14×10^{-19} J)

ข. จำนวนโฟตอนของเลเซอร์ที่ผลิตได้ใน 1 นาที (3.2×10^{15} โฟตอน)

ค. โมเมนตัมของโฟตอนแต่ละตัว (1.05×10^{-27} kg m/s)

2.19 จงหาความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของลูกบอลมวล 0.40 กิโลกรัม ที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ($1.7 \times 10^{-34} \text{ m}$)

2.20 จงเปรียบเทียบความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนและนิวเคลียสไฮโดรเจนที่ถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ 300 โวลต์ เท่ากัน กำหนดให้มวลของนิวเคลียสไฮโดรเจนเท่ากับ 1.6×10^{-27} กิโลกรัม

19.6 กลศาสตร์ควอนตัม (Quantum Mechanics)

1. **Quantum Mechanics** เป็นวิชาสำหรับอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในระดับอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ๆ เท่ากับอะตอม เช่น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เพราะกฎของนิวตันไม่สามารถให้รายละเอียดได้

2. **Quantum Mechanics** เป็นศาสตร์ของ Matter Waves ที่ให้หลักสมบูรณในการศึกษาเรื่องอะตอมในปัจจุบัน

3. **Quantum Mechanics** จะกล่าวถึงโอกาสที่จะเป็นไปได้ ในการที่จะบอกว่า อิเล็กตรอนอยู่ที่ไหน หรือจะพบได้ที่ไหน ที่บริเวณหนึ่ง ๆ

4. ในการคิดค้นกลศาสตร์ควอนตัม โชรดิงเงอร์ (Erwin Schrodinger) นักฟิสิกส์ชาวออสเตรีย ได้คิดสมการของคลื่น โดยอาศัยหลักการของ de Broglie โดยใช้เทอมความยาวช่วงคลื่นของ ($\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$) ซึ่งสมการนี้เรียกว่า Schrodinger Equation สมการของโชรดิงเงอร์ มีความสำคัญในการอธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอะตอม โมเลกุลและในผลึก ได้อย่างถูกต้องและสามารถพิสูจน์ได้ว่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอม ไม่ต่อเนื่องกัน

19.6.1 หลักความไม่แน่นอนและโอกาสที่จะเป็นไปได้ (Uncertainty Principle)

1. ในการพิจารณาอิเล็กตรอน ตามหลักทวิภาพของคลื่นและอนุภาคพบว่า ถ้าอิเล็กตรอนเป็นอนุภาค เราคิดถึงอนุภาคในลักษณะที่มีขนาดแน่นอนและขนาดเล็กมาก ถ้าคิดว่าอิเล็กตรอนเป็นคลื่น ขนาดและตำแหน่งของคลื่นย่อมกระจายอยู่ในอาณาเขตอันหนึ่ง แต่ไม่สามารถบอกได้ชัดว่าอยู่ที่ใด

2. ในการศึกษา Quantum Mechanics ไฮเซนเบิร์กได้ตั้งหลัก ความไม่แน่นอน กล่าวคือ ตำแหน่งและโมเมนตัมของอนุภาคไม่สามารถที่จะบอกได้ว่าอนุภาคอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่ง และมีค่าโมเมนตัมที่แน่นอนเท่าใด หลักการนี้ ปรากฏว่าใช้ได้ทั้งสสารแอฟตอน กล่าวโดยสรุปหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กเป็นความไม่แน่นอนทางตำแหน่ง และทางโมเมนตัมของอนุภาค เขียนเป็นสูตรได้

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \bar{h}$$

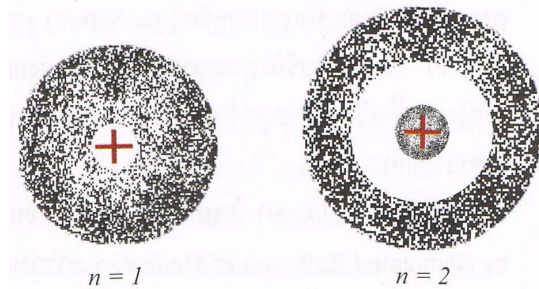
เมื่อ Δx แทน ความไม่แน่นอนในการบอกตำแหน่ง (m)

Δp แทน ความไม่แน่นอนในการบอกโมเมนตัม (kg.m/s)

$\bar{h}$ แทน $\frac{h}{2\pi} = 1.05 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

19.6.2 โครงสร้างอะตอมตามทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม

ตามหลักความไม่แน่นอน เราไม่สามารถระบุได้ว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสอยู่ในตำแหน่งใดได้แน่นอน เราบอกได้เพียงแต่โอกาสจะพบอิเล็กตรอน ณ ตำแหน่งต่างๆ ว่าเป็นเท่าใดเท่านั้น ดังนั้นโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอน ณ ตำแหน่งต่างๆ ว่าเป็นเท่าใดเท่านั้น ดังนั้นโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสจึงมีลักษณะเป็นกลุ่มหมอกทรงกลมห่อหุ้มนิวเคลียสในระดับชั้นพลังงานต่างๆ ดังรูป 19.14



รูป 19.14 ภาพแสดงกลุ่มหมอกของอะตอมไฮโดรเจนที่ระดับพลังงานต่าง ๆ

แนวคิดของกลศาสตร์ควอนตัมที่มีโอกาสจะพบอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสมีลักษณะเป็นกลุ่มหมอกสามารถอธิบายความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีของโบว์ ถึงการแยกเส้นสเปกตรัมหนึ่งเส้นเป็นหลายเส้นเมื่ออะตอมอยู่ในสนามแม่เหล็กได้

จะเห็นได้ว่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนในระดับต่างๆ จะได้จากกลศาสตร์ควอนตัมสอดคล้องกับทฤษฎีของโบว์ต่ออะตอมใหญ่ๆ ระดับพลังงานที่ได้จากทฤษฎีทั้งสองต่างกัน แต่ผลที่ได้จากกลศาสตร์ควอนตัมถูกต้องกว่า

แบบฝึกหัด 19.6

1.1 (เอ็นทรานซ์) หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก กล่าวว่า ผลคูณระหว่างความไม่แน่นอนทางตำแหน่งกับความไม่แน่นอนทางโมเมนตัม จะมีค่าอย่างไร

- ก. น้อยกว่าค่านิจของแฟลงค์หารด้วย 2π
- ข. เท่ากับค่านิจของแฟลงค์หารด้วย 2π
- ค. มากกว่าค่านิจของแฟลงค์หารด้วย 2π
- ง. มากกว่าหรือเท่ากับค่านิจของแฟลงค์หารด้วย 2π

1.2 นิวเคลียสของอะตอมรัศมีประมาณ 10^{-14} เมตร ถ้า e อยู่ในนิวเคลียสได้ความไม่แน่นอนในกวัตต์ตำแหน่งของอิเล็กตรอน x ไม่ควรมีค่าเกิน 10^{-14} เมตร จากหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก โมเมนตัมของ e อย่างน้อยที่สุดมีค่าเท่าใด

- | | |
|---|---|
| ก. $1.05 \times 10^{-14} \text{ kg. m/s}$ | ข. $1.05 \times 10^{-16} \text{ kg. m/s}$ |
| ค. $1.05 \times 10^{-18} \text{ kg. m/s}$ | ง. $1.05 \times 10^{-20} \text{ kg. m/s}$ |

1.3 ถ้ำมวล 0.001 กรัม อยู่ในเขต 0.01 มิลลิเมตร จงหาความไม่แน่นอนของความเร็วของวัตถุนี้

ก. $1.05 \times 10^{-18} \text{ m/s}$

ข. $1.05 \times 10^{-20} \text{ m/s}$

ค. $1.05 \times 10^{-23} \text{ m/s}$

ง. $1.05 \times 10^{-25} \text{ m/s}$

2.1 หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กกล่าวไว้ว่าอย่างไร

2.1 โมเมนตัมและตำแหน่งของอิเล็กตรอนในอะตอมถูกวัดได้อย่างถูกต้องพร้อมกันได้หรือไม่

2.1 จงเขียนแผนภาพเปรียบเทียบแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนของโบร์ และแบบจำลองอะตอมทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม

3.1 ความไม่แน่นอนของการวัดตำแหน่งอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ในแนวตรงมีค่า 0.1 นาโนเมตร ความไม่แน่นอนทางโมเมนตัมที่น้อยที่สุดของอิเล็กตรอนจะเป็นเท่าใด ($1.1 \times 10^{-25} \text{ kg m/s}$)

3.2 วัตถุมวล 50.0 กรัม เคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร็ว 50.0 เมตรต่อวินาที ถ้าความไม่แน่นอนของการวัดเป็น 0.010 เมตรต่อวินาที ความไม่แน่นอนของการวัดตำแหน่งเป็นเท่าใด ($2.1 \times 10^{-34} \text{ m}$)